



วารสาร

เกษตรพระจอมเกล้า

KING MONGKUT'S AGRICULTURAL JOURNAL

ปีที่ 40 ฉบับที่ 2

VOLUME 40 NUMBER 2

พฤษภาคม – สิงหาคม 2565

ISSN 2651-2203 (Online)

May – August 2022

บทความวิจัย

สารบัญ

หน้า

- | | | | |
|---|---|--|-----|
| ❑ | ติดตามการเปลี่ยนแปลงของสมบัติดินและน้ำบางประการที่เกิดจากอิทธิพลของน้ำทะเลหนุนในพื้นที่ปลูกผักและไม้ผลในจังหวัดนนทบุรีและปทุมธานี | นุชจรินทร์ เนียมจํานงค์ นภาพร พันธุ์กมลศิลป์
วิภาวรรณ ท้ายเมือง และเกียรติศักดิ์ สนศรี | 94 |
| ❑ | ผลของระดับการเพาะเลี้ยงไรแดง (<i>Moina macrocopa</i>) ความหนาแน่นสูงโดยการใช้สารห่วยคลอเรลล่าผงเป็นแหล่งอาหารต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต | ธนากร ทราเจริญ พงศไชยรัฐ พิชิตกุล
อิสริยา วุฒิสินธุ์ และสุริยัน ธัญกิจจานุกิจ | 105 |
| ❑ | ผลของว่านหางจระเข้และน้ำสกัดใบฝรั่งต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง | ทิศา สุนทรวิภาต | 115 |
| ❑ | อิทธิพลของข้อมูลสภาพอากาศและนโยบายต่อการตัดสินใจปลูกพืชทางเลือกและช่องทางการรับรู้ข้อมูลของเกษตรกรในพื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง จังหวัดอุทัยธานี | นิติภา วรพันธ์ตระกูล ชัชวาลย์ เผ่าเพ็ง
และสายรัก ไชยลังกา | 125 |
| ❑ | การเปลี่ยนแปลงความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าแครอท หลังการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืช | จักรพงษ์ กางโสภา เพชรรัตน์ จีเพชร
นรารัตน์ ทาวงค์ อรัญญา สิงโสภา
และสุริมาศ จันทะอินทร์ | 134 |
| ❑ | ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินร่วนและดินทรายใช้ปลูกข้าว อำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่นโดยใช้วิธีสถิติ | พรทิพย์ โพนตุงแสง สุปราณี ศรีทำบุญ
และเรงศักดิ์ กตเวทิน | 144 |
| ❑ | ผลของการสกัดแอนโธไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยวิธีการแช่น้ำและการใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ | อรทัย บุญทะวงศ์ และอุบลรัตน์ พรหมพัง | 153 |
| ❑ | การคัดเลือกพันธุ์ปทุมมาลูกผสมต้านทานต่อโรคเหี่ยวเหี่ยวที่เกิดจากแบคทีเรีย <i>Ralstonia solanacearum</i> species complex | อติตยา คำวินิจ อังสนา อัครพิศาล
พรสุข ชัยสุข อธินิติ พวงกฤษ
และเฉลิมศรี นนทสวัสดิ์ศรี | 160 |
| ❑ | อิทธิพลนาโนเซลลูโลสและสภาพเปียกสลับแห้งต่อความสามารถในการอุ้มน้ำและสภาวะการเกิดเม็ดดินของดินเนื้อละเอียด | สุชาดา กรุณา อาณัติ เสงเจริญ
และณัฐฐณิชา ธรรมมัญช | 169 |
| ❑ | อัตราส่วนที่เหมาะสมของชาใบหม่อนและสับปะรดต่อคุณภาพของชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรด | วัฒนา วิรุฒิก | 178 |
| ❑ | ศักยภาพการทนแล้งและผลผลิตของข้าวไร่พันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์แนะนำในประเทศไทย | จรัญญา แสงสวัสดิ์ สุวัจน์ อัมวิธิต
ประภัสสร วิจิตรจันทร์ สัตหิฐิศ รวีรวัณทิ
นัฐวรรณ นุชบา สุนันทรา บรรจบพุดชา
ธนสิน ทับทิมโต และคณะ | 187 |
| ❑ | การพัฒนาเว็บไซต์โครงการประกาศกฎบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย | รัตตมา รัตนวงศา และกุลชัย กุลตวันิช | 196 |
| ❑ | การสร้างตราสินค้าและการรับรู้ตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ BY KMITL ในประเทศไทย | จิรนนท์ เข็มขันธุ์ รัญคุณานิชช กันหลง
ประพัฒน์ อธิปัญญาพงษ์ และรัตตมา รัตนวงศา | 206 |
| ❑ | การพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมะม่วงอัญชลีพันธุ์ของตำบลบางไผ่ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ | ธนัท สมณคุปต์ และวสันต์ ชูณหวิจิตรา | 216 |

วารสารเกษตรพระจอมเกล้า

1. เพื่อเผยแพร่ความก้าวหน้าของวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร

- ## การส่งเรื่องลงพิมพ์

สำนักงาน

กำหนดการตีพิมพ์ : วารสารเกษตร

พระจอมเกล้า กำหนดตีพิมพ์ปีละ 3 ฉบับ

- ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน
ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม
ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม

คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร

รองคณบดี
ผู้ช่วยคณบดี
หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช
หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
และประมง
หัวหน้าภาควิชาพัฒนาการเกษตรและการจัดการทรัพยากร
รศ. ดร.จรัมพร เส้าสินวัฒนา
(บรรณานุกรม พ.ศ. 2555-2558)
รศ. ดร.คำรณวิทย์ ทัพย์มณี
(บรรณานุกรม พ.ศ. 2558-2561)
ผศ. ดร.สุกัญญา แยมประชา
(บรรณานุกรม พ.ศ. 2561-2564)
รศ. ดร.คำรณวิทย์ ทัพย์มณี
(รักษาราชการนับบรรณานุกรม พ.ศ. 2564)
รศ. ดร.ปัญญา นามันเกิบ
(บรรณานุกรม พ.ศ. 2564-2567)

ผศ. ดร.กุลชัย กุลตวณิช

รศ. ดร.ปัญญา หมั่นเก็บ

ผศ. ดร.พัชรภรณ์ สวอ

นายปิยวัฒน์ ศรีสวัสดิ์

ศ. ดร.บัญชา สมบูรณ์สุข
ศ. ดร.สุฤตติ ประเทืองวงศ์
ศ. ดร.อังกูสมาลย์ จันทราบัณฑิตย์
ศ. ดร.ฉออง วชิราภากร
ศ. ดร.ยุพา หารบุญทรง
ศ. ดร.นาวินดิย์ สงคราม
ศ. ดร.อนุชิตา มุ่งงาม
ศ. ดร.วรเชษฐ จันทรสร
รศ. ดร.กานต์ สุขสุเทพย์
รศ. ดร.กัจจกร หลุยยะพงศ์
รศ. ดร.จินดา ขลิบทอง
รศ. ดร.จุฬารัตน์ เศรษฐกุล
รศ. ดร.ทูกีระ หะยีสามแม
รศ. ดร.ไกรเลิศ ทวีกุล
รศ. ดร.ปรเมศ บันเทิง
รศ. ดร.วราห์ เทพานิติ
รศ. ดร.ศิริชัย กัลยาณรัตน์
รศ. ดร.สนธิชัย จันทร์เปรม

ผศ. ดร.จักรมาศ เลหาวนิช
 ผศ. ดร.พิศสุวรรณ เขียมสมบัติ
 ผศ. ดร.เยาวรัตน์ ศรีวรรณนท์
 ผศ. ดร.วัชร จินตโกวิท
 ผศ. ดร.วีระชัย ทองศรี
 ผศ. ดร.เสาวคนธ์ เหมวงษ์
 คุณอัญชลี สุวจิตตานนท์
 ผศ. ดร.อนัญญา เจริญพรนิพัทธ์
 ศ. ดร.มยุรา สุนัยวีระ
 ผศ. ดร.บุญล ถวิลถิ่ง
 รศ. ดร.คำรณวิทย์ ทิพย์มณี
 รศ. ดร.พรหมมาศ คุณากาญจน์
 รศ. ดร.สุเทพ สุวรรณมณีพงษ์
 รศ. ดร.กัญญา แซ่เตียว
 รศ. ดร.ศุภลักษณ์ สรภักดิ์
 ผศ. ดร.อัฉริ เรืองเดช
 ผศ. ดร.ลำแพน ขวัญพล
 ผศ. ดร.ดวงกมล ปานรศทิพ ธรรมาธิวัฒน์
 ผศ. ดร.ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล
 ผศ. ดร.จำลอง มิตรชาวไทย
 ผศ. ดร.มัลลิกา กิลลาไล
 ดร.ธนท สมณคุปต์
 Asst. Prof. Dr. James Dominic TRUE
 ดร.ปัทมา นิตไธสง

นางสาวอาชฺรธา อูมา

กองบรรณาธิการวารสารเกษตรพระจอมเกล้า

คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ 096-176-3329
E-mail : ajournal@kmitl.ac.th

สำนักพิมพ์ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

[illegible]

ข้อความและบทความในวารสารนี้เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนโดยเฉพาะ
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบในเนื้อหาและข้อคิดเห็นนั้น ๆ แต่อย่างใด

บทบรรณาธิการ

วารสารเกษตรพระจอมเกล้า (King Mongkut's Agricultural Journal) ฉบับนี้เป็นปีที่ 40 ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม - สิงหาคม 2565 เป็นวารสารวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร โดยมีผู้ทรงคุณวุฒิประเมินและพิจารณาการตีพิมพ์บทความทางวิชาการอย่างเข้มงวดทั้งผู้ทรงคุณวุฒิภายในและภายนอกสถาบัน ในวารสารฉบับนี้มีบทความวิจัยที่ผ่านการประเมินคุณภาพและพิจารณาให้ตีพิมพ์จำนวน 14 บทความที่ครอบคลุมเนื้อหาตั้งแต่เรื่องการผลิตจนถึงเทคโนโลยีการสื่อสาร ได้แก่ เทคโนโลยีการผลิตไรแดงด้วยสาหร่าย การใช้วานหางจระเข้และน้ำสกัดใบฝรั่งในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง การศึกษาคุณภาพต้นกล้าแครอต การใช้นาโนเซลลูโลสเพิ่มการอุ้มน้ำและสภาวะการเกิดเม็ดดินของดินเนื้อละเอียด วิธีการสกัดสารจากข้าวเหนียวดำ เป็นต้น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม ภูมิอากาศ ดิน น้ำ ต่อการผลิตผัก ผลไม้ ทุเรียน ข้าว ด้านการพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์ปทุมมา ต้านทานโรคเหี่ยวเหลือง ข้าวไร่พันธุ์พื้นเมืองทนแล้ง ตลอดจนการส่งเสริมการขาย นิเทศศาสตร์และการสื่อสาร เช่น การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ การสร้างตราสินค้า และการพัฒนาเว็บไซต์เพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย เป็นต้น

กองบรรณาธิการขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะ พิจารณากลับกรองและแก้ไขให้งานมีคุณภาพ มีความถูกต้อง มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และได้มาตรฐานทางวิชาการ และขอขอบคุณนักวิจัยและนักวิชาการทุกท่านที่ส่งบทความวิชาการและบทความวิจัยมาตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารเกษตรพระจอมเกล้าของเรา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างผลงานทางวิชาการและเผยแพร่ในวงกว้างต่อไป เปิดโอกาสให้ผู้สนใจสามารถนำผลงานไปใช้ประโยชน์และต่อยอดงานวิจัย เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ในศาสตร์สาขาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร รวมทั้งสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องให้เจริญก้าวหน้าต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา หมน้เก็บ

บรรณาธิการ

ติดตามการเปลี่ยนแปลงของสมบัติดินและน้ำบางประการที่เกิดจากอิทธิพลของน้ำทะเลหนุนในพื้นที่ปลูกผักและไม้ผลในจังหวัดนนทบุรีและปทุมธานี

Monitoring some Changes in Soil and Water Properties Caused by the Influence of Seawater Intrusion in Vegetable and Fruit Cultivation Areas of Nonthaburi and Pathum Thani Provinces

นุชจรินทร์ เนียมจันทน์¹, นภาพร พันธุ์กลมศิลป์¹, วิภาวรรณ ท้ายเมือง¹ และเกียรติศักดิ์ สนศรี¹
Nuchjarin Niamjumnong¹, Napaporn Phankamolsil¹, Wipawan Thaymuang¹ and Kiattisak Sonsri¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของสมบัติดินและน้ำบางประการที่เกิดจากอิทธิพลของน้ำทะเลหนุน และความแปรปรวนของความเค็มในพื้นที่ปลูกผักและไม้ผลในจังหวัดนนทบุรี และปทุมธานี เก็บตัวอย่างดิน 6 จุด แบบรบกวนโครงสร้างที่ 5 ระดับความลึก คือ 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 และ 90-120 ซม. และเก็บตัวอย่างน้ำ 8 จุด บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาและคลองซอยที่ใกล้เคียงกับที่เก็บตัวอย่างดิน โดยเก็บตัวอย่างดินและน้ำทุก ๆ เดือน เป็นระยะเวลา 2 ปี ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2561 - เดือนกุมภาพันธ์ 2563 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการ ได้แก่ ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (EC_e) และอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) แล้วทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของสมบัติดินและน้ำระหว่างปีโดยใช้การทดสอบ Student's t-test (T-test) ผลการศึกษาในดินพบว่า EC_e และ SAR ทั้ง 2 ปี มีค่าอยู่ในพิสัย 0.21-5.09 dS/m และ 1.66-52.34 ตามลำดับ ส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ยกเว้น EC_e ของจุดศึกษาที่ 4 ที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับความลึก ขณะที่ผลการวิเคราะห์น้ำ EC_e และ SAR มีค่าอยู่ในพิสัย 0.21-6.73 dS/m และ 0.25-78.82 ตามลำดับ ซึ่งส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ยกเว้นในจุดเก็บน้ำที่ 6 และ 8 จากการศึกษาศมบัติของดินแสดงให้เห็นว่าดินเหล่านี้ได้รับผลกระทบจากเกลือ และอิทธิพลมีแนวโน้มแสดงถึงความรุนแรงมากขึ้นในปีที่ 2 สอดคล้องกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศ และอิทธิพลของน้ำทะเลหนุนอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความแปรปรวนของความเค็มของดินโดยเฉพาะในช่วงที่มีน้ำจืดในการผลักดันน้ำเค็มน้อย ดังนั้นข้อมูลนี้จะสนับสนุนการจัดการและการวางแผนการใช้น้ำจืดเพื่อขับไล่ น้ำทะเลที่อาจบุกรุกพื้นที่เพาะปลูกผักและผลไม้ในอนาคต

คำสำคัญ: น้ำทะเลหนุน สมบัติดิน ความแปรปรวนของความเค็ม พื้นที่ปลูกผักและไม้ผล

Abstract

The aim of this research was to monitor changes in soil properties caused by sea water intrusion and salinity variability in vegetable and fruit cultivation areas in Nonthaburi and Pathum Thani provinces. Soil samples were collected from 6 locations, at depths of 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 and 90-120 cm, and water samples from 8 sites were collected in the areas of the Chao Phraya River and the canals nearby the soil sampling locations. Some chemical properties including EC_e and SAR were analyzed. Soil and water samples were collected monthly from March 2018 to February 2020. The variability of soil and water properties between years was compared by Student's t-test (T-test). The results obtained from the soil samples collected in both years showed that the EC_e values had a range of 0.21-5.09 dS/m, and that the SAR values of the soils ranged from 1.66-52.34. Most of the EC_e and SAR values were highly significantly different ($P < 0.01$), except for the EC_e in location 4, which showed no significant difference at all depths. Pertaining to the EC and SAR of water samples, their values ranged from 0.21-6.73 dS/m and 0.25-78.82, respectively. The presence of statistically significant differences between years for the EC_e and SAR values of water was observed ($P < 0.05$), except for water sampling locations 6 and 8. This study showed that these investigated soils were affected by salt, and the effect tended to be severe in the second year of study. The result was in agreement with climate data. Moreover, seawater intrusion may have been a contributing factor to variability of soil salinity. The intrusion presumably occurred because there was insufficient freshwater present to

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

¹Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140

^{*}corresponding author, Email: agmpp@ku.ac.th

keep out the saltwater. Thus, the data can be helpful when planning to manage the utilization of fresh water to prevent seawater intrusion into vegetable and fruit cultivation areas in the future.

Keywords: seawater intrusion, soil properties, salinity variability, vegetable and fruit cultivation areas

คำนำ

พื้นที่ราบภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย มีพื้นที่ต่อเนื่องกับทะเลอ่าวไทย ลักษณะเป็นที่ราบลุ่มมีความสูงจากระดับน้ำทะเล 0-2 เมตร เมื่อเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลหนุนสูงบริเวณดังกล่าวจะได้รับอิทธิพลจากความเค็มที่มากับน้ำทะเล อิทธิพลของน้ำเค็มอาจเข้ามาตามลำน้ำเจ้าพระยา หรือมากับระบบน้ำใต้ดิน ปัจจุบันประเทศไทยบริหารจัดการการรุกรานของน้ำเค็มเข้ามาในลำน้ำเจ้าพระยาและพื้นที่เพาะปลูกโดยการใช้น้ำจืดผลักดันน้ำเค็ม ดังนั้นหากมีระดับน้ำทะเลสูงขึ้น และประกอบกับการมีมวลน้ำจืดในการผลักดันน้ำเค็มน้อย ปัญหาที่จะเกิดได้มากขึ้น

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นปัญหาระดับโลกที่ส่งผลกระทบในวงกว้างทั้งในภาคเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม สาเหตุหลักเกิดจากก๊าซเรือนกระจกที่เป็นตัวทำให้บรรยากาศของโลกร้อนขึ้น ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Williams et al., 2009) เมื่ออุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงขึ้นทำให้ธารน้ำแข็งเกิดการละลายมากขึ้น ส่งผลให้ระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น ซึ่งระดับน้ำทะเลสูงขึ้นตั้งแต่ปลายศตวรรษที่ 19 ถึงต้นศตวรรษที่ 21 (Church and White, 2011) การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มากขึ้นและต่อเนื่องนี้ จะส่งผลให้เกิดการรุกรานของน้ำทะเลเข้าสู่พื้นที่ต่าง ๆ รวมถึงบริเวณที่เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น หนอง บึง คลอง รวมทั้งแหล่งน้ำชลประทานซึ่งจะได้รับผลกระทบจากความเค็มของสารละลายเกลือที่แพร่เข้ามา และรุกรานเป็นระยะทางที่ไกลขึ้น (Intaboot and Taesombat, 2014) โดยเกลือที่ละลายอยู่ในแหล่งน้ำชลประทานหรือคลองซอยต่าง ๆ เมื่อเกษตรกรมีการนำน้ำไปใช้จะทำให้ส่งผลกระทบต่อดินและพืชได้ กล่าวคือจะทำให้สมบัติของดิน เช่น โครงสร้างของดินเลว ดินแน่นทึบ สภาพการแทรกซึมน้ำลงสู่ดินและการซึมน้ำของดินลดลง อีกทั้งยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยพืชที่ได้รับผลกระทบจากเกลือจะมีลักษณะหลากหลาย เช่น ขนาดใบเล็กลง ใบมีสีเขียวเข้มกว่าปกติ ใบหนาหรือมีการขบน้ำ เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558; สมศรี อรุณินท์, 2539) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่เพาะปลูกทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง จากสถานการณ์ภัยแล้งปลายปี 2557 มีแนวโน้มจะเกิดความรุนแรงมาก เมื่อปริมาณฝนที่ตกทั้งปีต่ำกว่าค่าเฉลี่ย รวมทั้งปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำมีน้อยกว่าปีที่ผ่านมา ประกอบกับปรากฏการณ์เอลนีโญได้ปรากฏชัดเจนมากยิ่งขึ้น ทำให้มีผลคาดการณ์ว่า สถานการณ์ภัยแล้งจะยาวนานกว่าปกติ (อรรษา มณีข้า และคณะ, 2558) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปี 2558 และปี 2559 ประเทศไทยตกอยู่ในสภาวะภัยแล้ง (Chaowiwat et al., 2016) ในหลายภูมิภาคสถานการณ์น้ำอยู่ในภาวะวิกฤต เช่น ภาคเหนือและภาคตะวันตกที่อยู่ในภาวะวิกฤตพร้อมกัน ต่อเนื่องจากปี 2558 ทำให้ยังคงส่งผลกระทบถึงภาคกลางที่ใช้น้ำต้นทุนจากทั้งสองภาค (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2559) จากการติดตามสภาพอากาศและปริมาณน้ำในแหล่งน้ำขนาดใหญ่ พบว่าปี 2558 ประเทศไทยยังได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์เอลนีโญ ส่งผลให้ปริมาณฝนที่ตกมีปริมาณน้อยกว่าค่าเฉลี่ยร้อยละ 10-20 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ของกรมชลประทานมีปริมาณน้อยกว่าปีที่แล้ว 4,189 ลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำในลำน้ำส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์น้อย จากข้อมูลข้างต้นแสดงว่าฤดูแล้งปี 2558/59 จะมีความรุนแรงและมาเร็วกว่าปกติ (อรรษา มณีข้า และคณะ, 2558) จึงส่งผลให้แม่น้ำเจ้าพระยามีปริมาณน้ำกักเก็บไว้ไม่เพียงพอเกิดผลกระทบต่อการอุปโภค บริโภค การประมง การประปา และการเกษตร โดยสาเหตุไม่ได้มีเพียงปรากฏการณ์ทางธรรมชาติหรือลมมรสุมเท่านั้นที่ทำให้มีน้ำใช้การได้น้อย แต่ยังมีสาเหตุอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น การใช้น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ไม่เหมาะสมและมีการจัดการที่ไม่ดี เป็นต้น (รัตนารัตนารักษ์, 2557)

กรมชลประทาน (2560) รายงานว่าแม่น้ำเจ้าพระยามีค่าความเค็มเพิ่มสูงขึ้นหรือเกิดภาวะน้ำเค็มรุกราน หลังจากน้ำทะเลหนุนสูง บริเวณตั้งแต่ปากแม่น้ำเจ้าพระยาขึ้นมาจนถึงบริเวณสะพานพระปิ่นเกล้า ที่มีค่าความเค็มสูงเกิน 1.5 กรัมต่อลิตร ซึ่งโดยสภาพทั่วไปของแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณนี้ จะมีค่าความเค็มสูงเป็นประจำทุกปีในช่วงฤดูแล้ง เนื่องจากเป็นช่วงที่ปริมาณน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยามีอัตราการไหลไม่มากนัก จากการตรวจวัดค่าความเค็มที่สถานีตรวจวัดที่โรงพยาบาลศิริราช พบว่าในช่วงที่น้ำทะเลหนุนสูงของเดือนมกราคม 2560 มีค่าความเค็มสูงสุด 1.50 กรัมต่อลิตร ขณะที่ในช่วงที่น้ำทะเลหนุนสูงของเดือนมกราคม ปี 2559 มีค่าความเค็มสูงสุดถึง 3.29 กรัมต่อลิตร มากกว่าปี 2560 กว่า 2 เท่า ส่งผลให้น้ำเค็มรุกรานเข้าไปในแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งการตรวจวัดความเค็มเป็นการตรวจวัดปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำโดยมี 2 วิธีการหาค่าความเค็มได้แก่ ค่าสภาพการนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็น dS/m และ ปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้ ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของปริมาณของแข็งทั้งหมด (total dissolved solids; TDS) มีหน่วยเป็นกรัมต่อลิตร หรือ ส่วนในหนึ่งพันส่วน (part per thousand; ppt) หรือ ส่วนในหนึ่งล้านส่วน (part per million; ppm) ซึ่งการขังการได้รับอิทธิพลจากเกลือของดินจะใช้สมบัติทางเคมีของดินได้แก่สภาพการนำ

ไฟฟ้าของสารละลายดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (electric conductivity; EC_e) มีค่าตั้งแต่ 4 dS/m ขึ้นไป และค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดิน (sodium adsorption ratio; SAR) มีค่าตั้งแต่ 13 ขึ้นไป (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954) ในด้านการได้รับอิทธิพลจากเกลือของน้ำนั้นองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ได้แบ่งคุณภาพของน้ำเพื่อการชลประทานที่ส่งผลกระทบต่อพืชดังนี้ น้ำที่มีคุณภาพดีใช้ได้โดยไม่มีข้อจำกัด มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 0.7 dS/m หรือมี TDS น้อยกว่า 450 ppm มีค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมน้อยกว่า 3 น้ำที่มีคุณภาพปานกลางมีข้อจำกัดเล็กน้อยถึงปานกลาง มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าระหว่าง 0.7-3.0 dS/m หรือมี TDS 450-2,000 ppm มีค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม 3-20 และน้ำที่มีคุณภาพต่ำมีข้อจำกัดมากในการใช้ มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงกว่า 3.0 dS/m หรือมี TDS มากกว่า 2,000 ppm มีค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมมากกว่า 20 (Ayers and Westoot, 1985) โดยบริเวณที่มีความเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบจากความเค็มส่วนใหญ่อยู่บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย (central plain) ซึ่งจังหวัดนนทบุรีและปทุมธานีเป็นสองจังหวัดที่ตั้งอยู่ในเขตที่ราบลุ่มภาคกลางที่มีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบจากอิทธิพลของน้ำทะเลหนุน จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงมีความสนใจในการศึกษาสมบัติของดินที่ได้รับ ความเค็มของน้ำทะเล อันเนื่องมาจากอิทธิพลของน้ำทะเลหนุน รวมทั้งความแปรปรวนของความเค็มของดินในช่วงฤดูกาลต่าง ๆ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการแสดงสมบัติของดินที่ได้รับผลกระทบจากน้ำทะเลหนุนในพื้นที่ปลูกผักและไม้ผลของจังหวัดนนทบุรีและปทุมธานี ซึ่งเป็นจังหวัดในที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่จังหวัดนนทบุรีและปทุมธานี โดยขอบเขตพื้นที่ศึกษาพิจารณาจากพื้นที่สวนผักและไม้ผลบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างของประเทศไทยที่คาดว่าจะได้รับปัญหารูกล้ำของน้ำเค็มอันเนื่องมาจากอิทธิพลของน้ำทะเลหนุน กำหนดจุดเก็บตัวอย่างเป็นตัวแทน 6 จุด ประกอบด้วยจังหวัดนนทบุรี 3 จุด (พื้นที่ปลูกไม้ผล; มะม่วง (LS1) มะนาวและสวนผสม (LS2) ทุเรียนและสวนผสม (LS3)) และจังหวัดปทุมธานี 3 จุด (พื้นที่ปลูกผัก (LS4-LS6)) โดยตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างดินจะขึ้นอยู่กักระยะห่างระหว่างพื้นที่ศึกษา แม่น้ำเจ้าพระยา และอ่าวไทย และตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจะเริ่มต้นจากแม่น้ำเจ้าพระยา คลองซอยที่ใกล้เคียงกับจุดเก็บตัวอย่างดิน อย่างไรก็ตามในการเลือกจุดศึกษาจะมีข้อจำกัดในการเลือกพื้นที่ศึกษา เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่การเกษตรในเขตเมือง กำหนดช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดินและน้ำเพื่อวิเคราะห์หาสมบัติทางเคมีบางประการ โดยดำเนินการในทุก ๆ หนึ่งเดือนเป็นระยะเวลา 2 ปี เริ่มเก็บตัวอย่างตั้งแต่ เดือนมีนาคม 2561 - เดือนกุมภาพันธ์ 2563 และนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบระหว่างปีที่ 1 (เดือนมีนาคม 2561 - เดือนกุมภาพันธ์ 2562) กับปีที่ 2 (เดือนมีนาคม 2562 - เดือนกุมภาพันธ์ 2563) โดยใช้การทดสอบ Student's t-test (T-test) ด้วย R statistical software, version 4.1.0 (R Development Core Team, 2013)

ดำเนินการเก็บตัวอย่างดิน โดยเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวนโครงสร้าง (disturbed soil samples) ด้วยสว่านเจาะดินที่ 5 ระดับความลึก ได้แก่ 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 และ 90-120 ซม. เพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินอิ่มตัว (EC_e) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่อง electrical conductivity meter อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดิน (SAR) โดยหาปริมาณโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม โดยใช้เครื่อง atomic absorption spectrophotometer (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954) โดยคำนวณจากสูตรดังนี้

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}} \quad (1)$$

และดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำ โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบจ้วง (grab sample method) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานในการเก็บตัวอย่างน้ำ (Rice et al., 2012) เพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำ ได้แก่ ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ และอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำ



Figure 1 The study sites in agricultural areas of Nonthaburi (1) and Pathum Thani (2) provinces.

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดิน

ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินเดือนมีนาคม 2561 - เดือนกุมภาพันธ์ 2563 พบว่า มีค่าอยู่ในพิสัย 0.21-5.09 dS/m เมื่อเปรียบเทียบค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินระหว่างปีที่ 1 และปีที่ 2 (Table 1) พบว่า จุดศึกษา LS1 (0-15, 60-90 ซม.), LS2 (0-60, 90-120 ซม.), LS3 (0-30, 60-120 ซม.), LS5 (0-30 ซม.) และ LS6 (0-60 ซม.) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ LS1 (15-30 ซม.) และ LS2 (60-90 ซม.) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ LS1 (30-60, 90-120 ซม.), LS3 (30-60 ซม.), LS4 (0-120 ซม.), LS5 (30-120 ซม.) และ LS6 (60-120 ซม.) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จากการเปรียบเทียบค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินทั้ง 2 ปี แสดงให้เห็นว่าชั้นดินบนในปีที่ 2 มีค่าสภาพการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มมากกว่าปีที่ 1 ใน 5 จุดศึกษา (ยกเว้น LS4) ซึ่งเมื่อพิจารณาในแต่ละช่วงชั้นความลึกของ LS4 พบว่าค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินทั้ง 2 ปีมีช่วงค่าพิสัยของค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินใกล้เคียงกันทั้ง 5 ระดับความลึก เนื่องจากเป็นจุดที่ใกล้กับแม่น้ำเจ้าพระยาจึงอาจทำให้ได้รับอิทธิพลของน้ำทะเลหนุนเป็นประจำทุกปี ประกอบกับพื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากเกลือในดินเนื้อละเอียด อาจเกิดการสะสมไว้ในระบบดินมากกว่าการชะล้างออกไป ค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่สูงขึ้นในปีที่ 2 สอดคล้องกับปริมาณฝนรวมในปีที่ 2 มีปริมาณฝนรวมทั้งปีน้อยกว่าปีที่ 1 (ศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา, 2563) ผสมกับการรุกรานของน้ำเค็มอันเนื่องมาจากอิทธิพลของน้ำทะเลหนุนร่วมด้วย (กลุ่มงานติดตามประเมินสถานการณ์ กตป., 2563) เมื่อเกิดการรุกรานของน้ำเค็ม และมีการนำน้ำที่มีความเค็มไปใช้ ส่งผลให้เกิดการละลายน้ำได้สะสมในดินบนมากขึ้น ผลการศึกษาเป็นไปในทางเดียวกันกับการศึกษาของ Poochai et al. (2017) และ เกียรติศักดิ์ สนศรี และคณะ (2563)

การเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินทั้ง 2 ปี ตามช่วงเวลา พบว่าส่วนใหญ่ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินมีความแตกต่างกันตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน (Figure 2, 3) โดยพบว่าในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม และเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม มีแนวโน้มค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงกว่าในช่วงเดือนอื่น และค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินมีแนวโน้มลดลงในเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม สอดคล้องกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนมากที่สุดในเดือนกันยายน (คลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ, 2563) และเมื่อพิจารณาในแต่ละจุดศึกษา พบว่าทุกจุดศึกษามีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินในปีที่ 1 ต่ำกว่า 4 dS/m และมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่า 4 dS/m ในปีที่ 2 ในบางช่วงชั้นความลึกของ 3 จุดศึกษา คือ LS1 (30-90 ซม.), LS5 (0-15 ซม.) และ LS6 (0-15 ซม.) ซึ่งเมื่อค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงกว่า 4 dS/m แสดงว่าดินได้รับผลกระทบจากเกลือส่งผลให้พืชที่ไวต่อความเค็มมีการเจริญเติบโตลดลงมาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558) อย่างไรก็ตามจะพบว่าบางเดือนของดินทั้ง 2 ปีมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินสูงกว่า 2 dS/m แต่ไม่ถึง 4 dS/m ซึ่งส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของพืชที่ไวต่อความเค็มได้ โดยเฉพาะไม้ผลและสวนผักซึ่งมีความทนต่อความเค็มได้ต่ำ (Phankamolail et al., 2021) และส่วนใหญ่ดินบนมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าน้อยกว่าดินล่าง ซึ่งการที่ค่าสภาพการนำไฟฟ้าบางบริเวณมีแนวโน้มสูงขึ้นในดินล่าง เป็นผลเนื่องมาจากอยู่ใกล้แหล่งเกลือ ซึ่งในพื้นที่ศึกษานี้มีวัตถุดิบกำเนิดจากการทับถมของตะกอนทะเลผสมกับตะกอนลำน้ำ ซึ่งมักมีเกลือที่ละลายได้หลายชนิดอยู่ (สมศรี อรุณินท์, 2539; นภาพร วงษ์โพธิ์หอม และคณะ, 2550)

Table 1 Variability comparison of soil electrical conductivity (EC_e) at each study location according to soil depth between first and second year.

Parameter	Locations	T-test				
		Depth (cm)				
		0-15	15-30	30-60	60-90	90-120
EC_e	LS1	**	*	ns	**	ns
	LS2	**	**	**	*	**
	LS3	**	**	ns	**	**
	LS4	ns	ns	ns	ns	ns
	LS5	**	**	ns	ns	ns
	LS6	**	**	**	ns	ns

**, *, ns = significant at 0.01, 0.05 probability levels and non-significant, respectively.

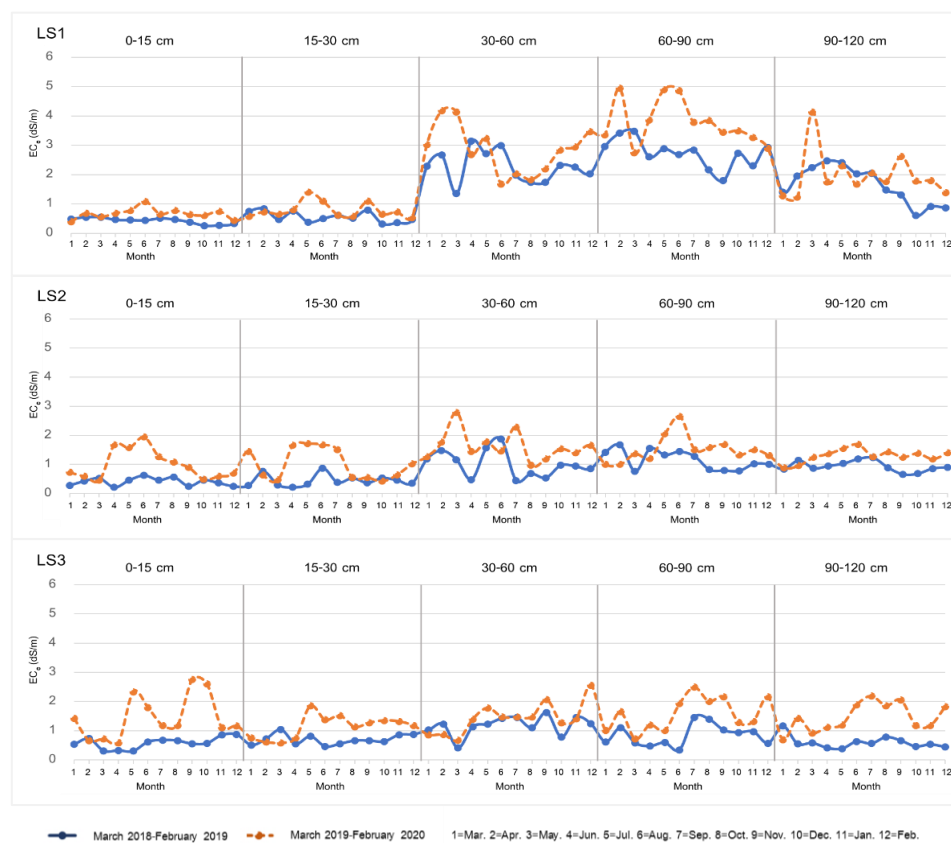


Figure 2 Variability of soil EC_e according to soil depth at each study location from March 2018 to February 2020 in Nonthaburi province (LS1-LS3).

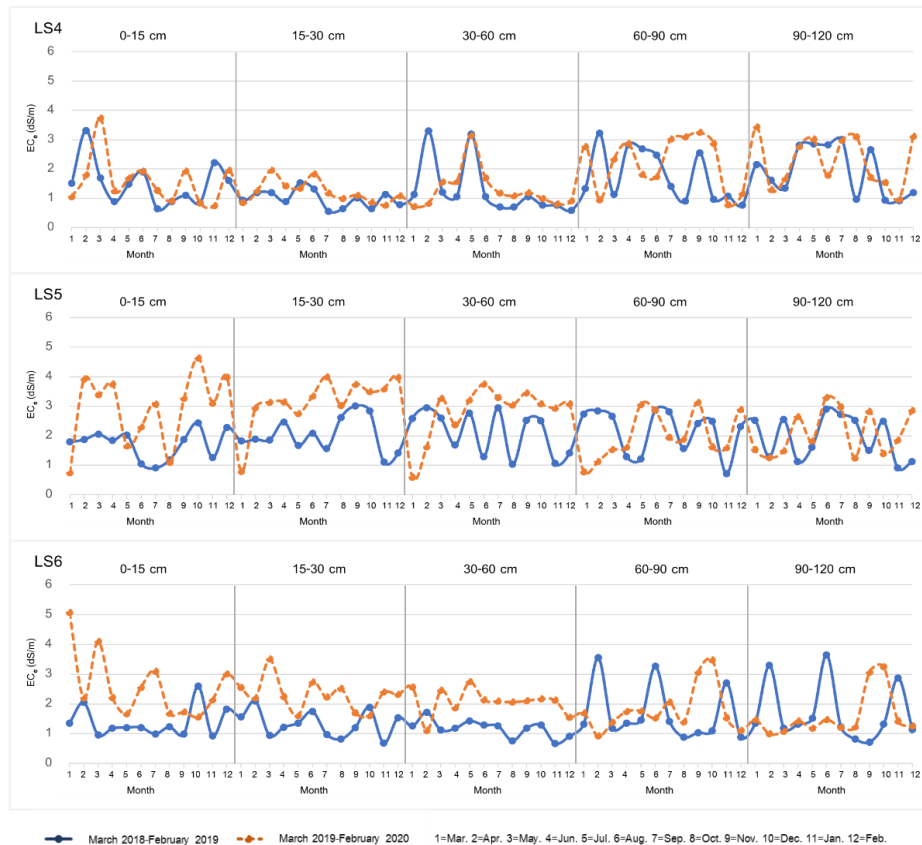


Figure 3 Variability of soil EC_e according to soil depth at each study location from March 2018 to February 2020 in Pathum Thani province (LS4-LS6).

อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดิน

อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินเดือนมีนาคม 2561 - เดือนกุมภาพันธ์ 2563 อยู่ในพิสัย 1.66-52.34 ซึ่งค่าต่ำสุดและสูงสุดอยู่ในช่วงปีที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินระหว่างปีที่ 1 และปีที่ 2 (Table 2) พบว่าจุดศึกษา LS1 (0-30, 90-120 ซม.), LS2 (0-30 ซม.), LS3 (0-60 ซม.), LS4 (15-60, 90-120 ซม.), LS5 (0-60, 90-120 ซม.) และ LS6 (0-15 ซม.) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ LS2 (30-60 ซม.), LS4 (0-15 ซม.) และ LS6 (15-30 ซม.) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ LS1 (30-90 ซม.), LS2 LS3 (60-120 ซม.), LS4 LS5 (60-90 ซม.) และ LS6 (30-120 ซม.) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จากการเปรียบเทียบอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินทั้ง 2 ปี (Figure 4, 5) แสดงให้เห็นว่าชั้นดินบนในปีที่ 2 อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินมีแนวโน้มลดลงจากปีที่ 1 โดยที่มีความแตกต่างทางสถิติกันอย่างชัดเจน อาจกล่าวได้ว่าในปีที่ 2 ได้รับผลกระทบจากโซเดียมไอออนน้อยลงกว่าปีที่ 1 จึงทำให้มีอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมลดลง ผลการศึกษาที่มีความเป็นไปได้ว่าในกรณีดินมีวัตถุต้นกำเนิดจากการทับถมของตะกอนทะเลผสมกับตะกอนลำน้ำซึ่งตะกอนทะเลมักมีเกลือที่ละลายได้หลายชนิด ส่วนใหญ่ได้แก่ เกลือของคลอไรด์และซัลเฟตของโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (สมศรี อรุณินท์, 2539) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากสูตรการคำนวณค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมจะพบว่า การที่ค่า SAR ลดลงอาจไม่ได้เกิดจากปริมาณโซเดียมที่ลดลง แต่อาจเกิดจากปริมาณประจุของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่เพิ่มมากขึ้นก็เป็นได้ จุดที่ทำการศึกษามีอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินมากกว่า 13 โดยดินเหล่านี้ได้รับผลกระทบจากโซเดียมไอออน (Na^+) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของ Na^+ อย่างช้า ๆ ในระบบดินหรือมีการดูดซับ Na^+ โดยแร่ดินเหนียว (Sonsri and Phankamolsil, 2019) อีกทั้งโซเดียมที่สูงยังส่งผลให้การแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนในเขตรากต่ำลง รากพืชไม่สามารถดึงน้ำในดินไปใช้ได้ ทำให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Queensland Government, 2014) จากคำสภาพการนำไฟฟ้าและอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมในระยะเวลาที่ทำการศึกษามีดินจำแนกชนิดดินที่มีผลกระทบจากเกลือ (salt affected soil) ได้ดังนี้ LS1 จำแนกได้เป็นดินเค็มโซดิก (saline-sodic soil) LS2, LS3, LS4 และ LS6 จำแนกได้เป็นดินโซดิก (sodic soil) และ LS5 จำแนกได้เป็นดินเค็ม (saline soil) เนื่องจากอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินต่ำกว่า 13

Table 2 Variability comparison of sodium adsorption ratio (SAR) at each study location according to soil depth between first and second year.

Parameter	Locations	T-test				
		Depth (cm)				
		0-15	15-30	30-60	60-90	90-120
SAR	LS1	**	**	ns	ns	**
	LS2	**	**	*	ns	ns
	LS3	**	**	**	ns	ns
	LS4	*	**	**	ns	**
	LS5	**	**	**	ns	**
	LS6	**	*	ns	ns	ns

**, *, ns = significant at 0.01, 0.05 probability levels and non-significant, respectively.

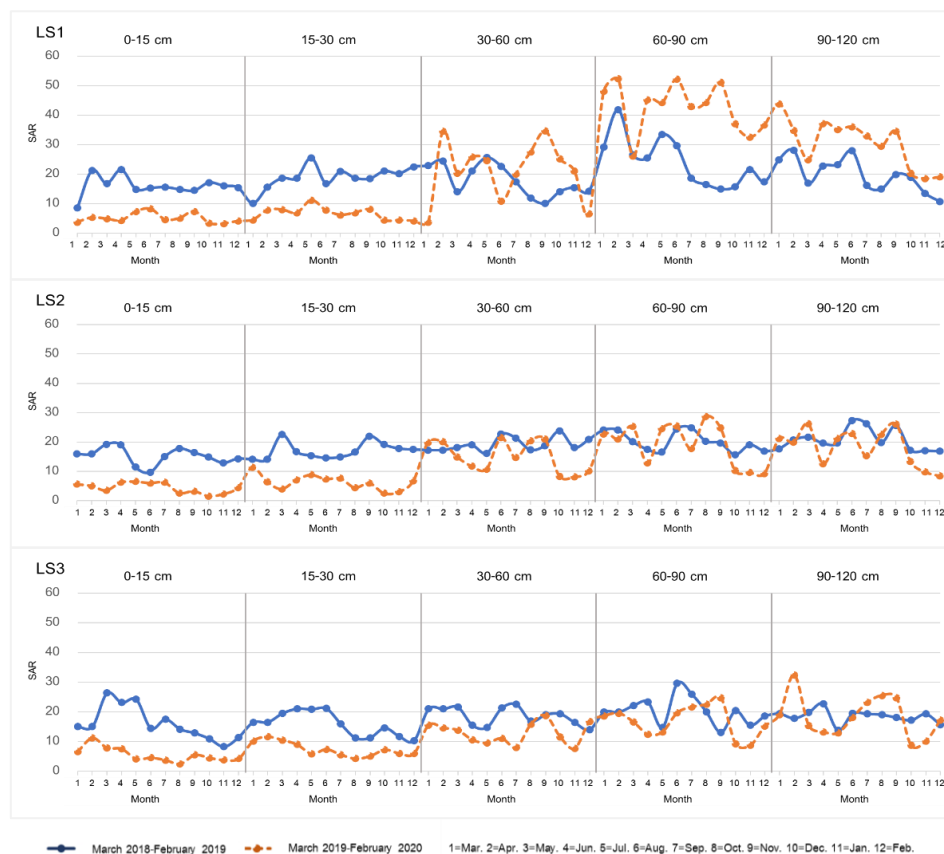


Figure 4 Variability of SAR according to soil depth at each study location from March 2018 to February 2020 in Nonthaburi province (LS1-LS3).

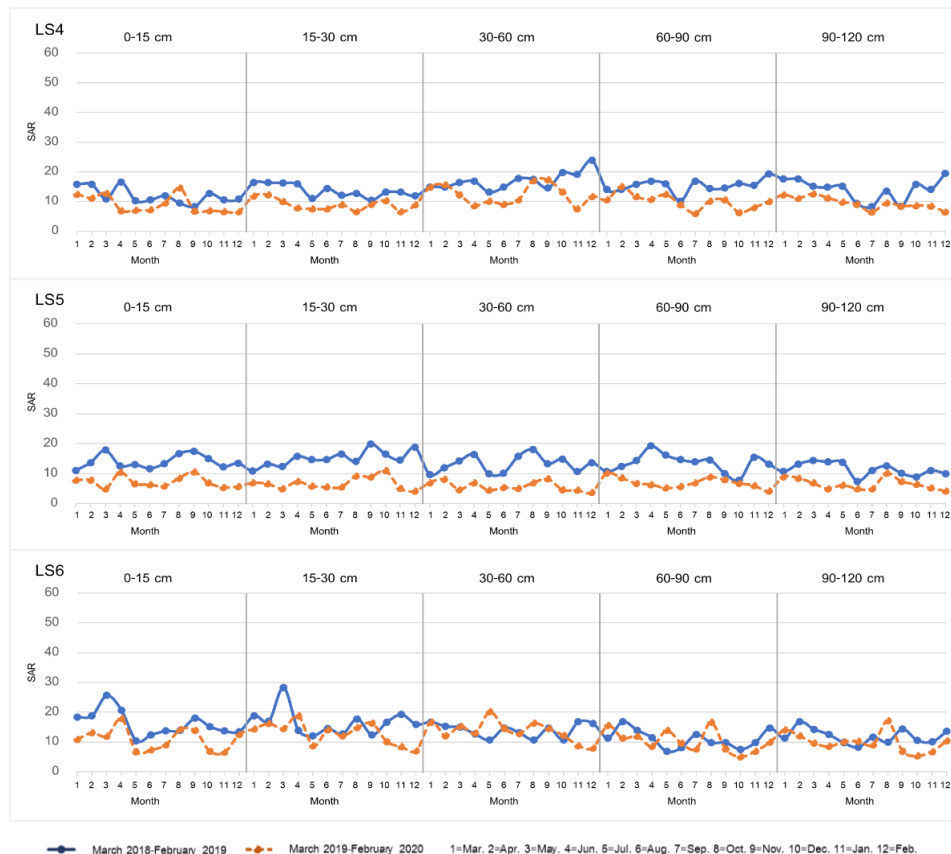


Figure 5 Variability of SAR according to soil depth at each study location from March 2018 to February 2020 in Pathum Thani province (LS4-LS6).

ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ

ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำปี 2561-2563 อยู่ในพิสัย 0.21-6.73 dS/m โดย LW1 และ LW5 เป็นจุดตัวแทนน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาจังหวัดนนทบุรีและปทุมธานีตามลำดับ และจุดตัวแทนน้ำจากบริเวณคลองซอยที่ใกล้เคียงกับจุดเก็บตัวอย่างดินในจังหวัดนนทบุรี (LW2, LW3 และ LW4) และจังหวัดปทุมธานี (LW6, LW7 และ LW8) (Figure 6) เมื่อเปรียบเทียบค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำระหว่างปีที่ 1 และปีที่ 2 (Table 3) พบว่า จุดศึกษา LW3 และ LW4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ขณะที่จุดศึกษาส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ LW1, LW2, LW5, LW7 และ LW8 และจุดที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ คือ LW6 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำในลำน้ำเจ้าพระยาในปีที่ 2 มีค่าสูงขึ้นชัดเจนในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม (เดือนที่ 10-12 ของการศึกษา) สอดคล้องกับการรายงานการรुकูล้ำของน้ำเค็มในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายนอันเนื่องมาจากอิทธิพลของน้ำทะเลหนุน (กลุ่มงานติดตามประเมินสถานการณ์ กตป., 2563) และประกอบกับช่วงเวลาดังกล่าวมีน้ำจืดมาผลักดันน้ำเค็มน้อย จึงส่งผลให้ในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำสูงกว่าช่วงเวลาอื่น และลดลงเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูฝน เมื่อเปรียบเทียบค่าสภาพการนำไฟฟ้าของทั้ง 2 ปี พบว่า ในปีที่ 2 มีค่าสูงกว่าปีที่ 1 เป็นส่วนใหญ่ อีกทั้งมีค่าสูงกว่า 0.75 dS/m ทำให้ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเกลือที่ปนอยู่ในน้ำชลประทานที่เกษตรกรนำมาใช้ หรือมาจากน้ำใต้ดินที่อยู่ตื้นใกล้ผิวดิน ทำให้เกิดเกลือสะสมในดินบริเวณรากพืช เมื่อมีเกลือปริมาณมากขึ้นจึงทำให้พืชไม่สามารถดึงน้ำจากดินได้ตามปกติ เมื่อพืชสามารถนำไปใช้ได้ลดลง พืชก็จะมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงตามมา (อรุณี ยูวะนิยม, 2539) โดยค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินและค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำสอดคล้องกัน จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปีที่ 2 ทั้งสองพารามิเตอร์

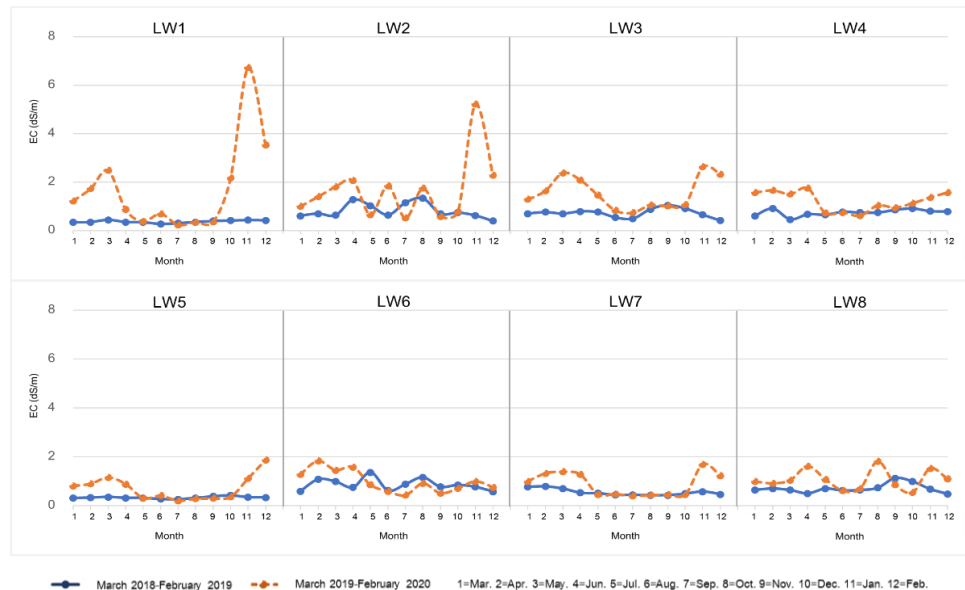


Figure 6 Variability of water EC_e at each study location from March 2018 to February 2020 in Nonthaburi (LW1-LW4) and Pathum Thani provinces (LW5-LW8).

อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำ

อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำในเดือนมีนาคม 2561 - เดือนกุมภาพันธ์ 2563 อยู่ในพิสัย 0.25-78.82 โดยจุดตัวอย่างน้ำเป็นจุดเดียวกับที่กล่าวในหัวข้อค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำระหว่างปีที่ 1 และปีที่ 2 (Figure 7, Table 3) พบว่า จุดศึกษา LW1, LW3, LW4 และ LW7 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจุดศึกษา LW2, LW5 และ LW6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่จุดที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติคือ LW8 จากการเปรียบเทียบอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำทั้ง 2 ปี จะเห็นว่าในปีที่ 2 อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นกว่าปีที่ 1 และพบว่าในบางจุดศึกษามีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินและน้ำสูงร่วมด้วย จึงทำให้พืชบริเวณนั้นมีการเจริญเติบโตลดลง อาจกล่าวได้ว่าในปีที่ 2 ได้รับอิทธิพลของน้ำทะเลหนุนรุนแรงมากขึ้น จึงทำให้อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำสูงขึ้น เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำเพื่อการชลประทานพบว่า ในบางเดือนของปีที่ 2 เช่น เดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำมากกว่า 10 ซึ่งจัดเป็นน้ำคุณภาพปานกลาง เมื่อเกษตรกรมีการนำน้ำไปใช้เพื่อการเกษตร อาจส่งผลกระทบต่อพืชที่ไม่ทนเค็มและสามารถใช้กับพืชที่ทนเค็มได้ปานกลาง (Ayers and Westoot, 1985; U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954)

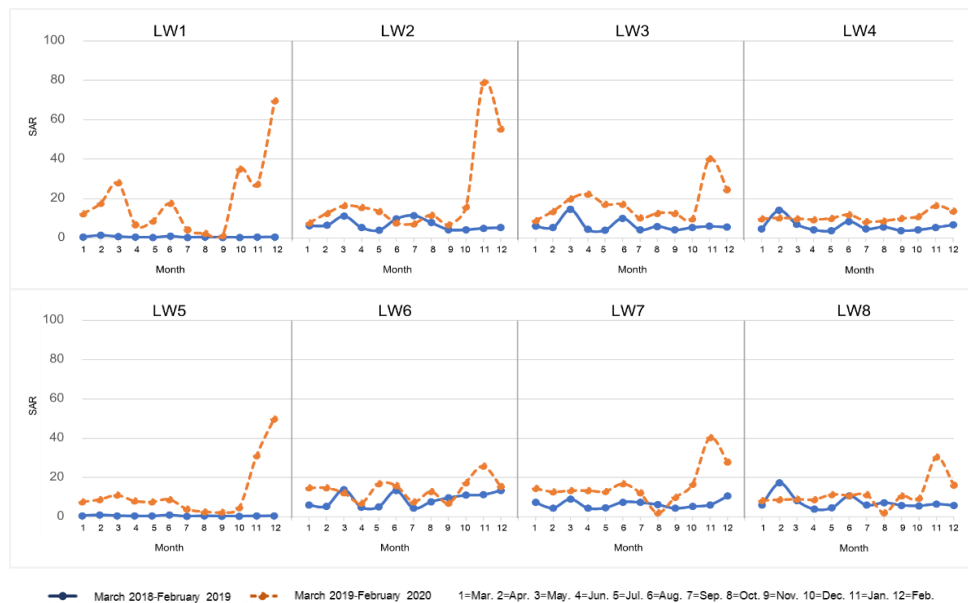


Figure 7 Variability of water SAR at each study location from March 2018 to February 2020 in Nonthaburi (LW1-LW4) and Pathum Thani provinces (LW5-LW8).

Table 3 Variability comparison of electrical conductivity (EC_e) and sodium adsorption ratio (SAR) of water samples at study location between first and second year.

Parameters	T-test							
	Locations							
	LW1	LW2	LW3	LW4	LW5	LW6	LW7	LW8
EC_e	*	*	**	**	*	ns	*	*
SAR	**	*	**	**	*	*	**	ns

**, *, ns = significant at 0.01, 0.05 probability levels and non-significant, respectively.

สรุปผลการศึกษา

การติดตามการเปลี่ยนแปลงของสมบัติดินและน้ำ ได้แก่ ค่าสภาพการนำไฟฟ้าและอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของน้ำทะเลหนุนในพื้นที่ปลูกผักและไม้ผลในจังหวัดนนทบุรีและปทุมธานี ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2561 - เดือนกุมภาพันธ์ 2563 ผลการศึกษาพบว่าดินในพื้นที่ทั้ง 6 จุดศึกษา (LS1-LS6) ได้รับผลกระทบจากเกลือ โดยสมบัติของดินและน้ำในพื้นที่ศึกษาแสดงให้เห็นว่าได้รับผลกระทบจากเกลือ และมีแนวโน้มแสดงค่าความเค็มรุนแรงมากขึ้นในปีที่ 2 (เดือนมีนาคม 2562 - เดือนกุมภาพันธ์ 2563) สามารถจัดจำแนกเป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือ (salt affected soils) คือ LS1 เป็นดินเค็มโซเดียม (saline-sodic soil) LS2, LS3, LS4 และ LS6 เป็นดินโซเดียม (sodic soil) และ LS5 เป็นดินเค็ม (saline soil) อิทธิพลของเกลือต่อสมบัติดินมีความแปรปรวนตามฤดูกาล โดยมีค่าสูงในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม และเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม และมีความแปรปรวนระหว่างปีที่ 1 และปีที่ 2 โดยมีค่าสูงในปีที่ 2 ในขณะที่ค่าความเค็มของน้ำมีความแปรปรวนตามฤดูกาลและระหว่างปีในลักษณะสอดคล้องกับในดิน ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความแปรปรวนของความเค็มของดินในช่วงที่มีน้ำจืดในการผลักดันน้ำเค็มน้อยทำให้น้ำเค็มสามารถรุกเข้ามามีอิทธิพลต่อดิน และมีการนำน้ำที่มีความเค็มเข้าไปใช้ทำการเกษตรโดยเกษตรกรเป็นปัจจัยร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสภาวิจัยแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมชลประทาน. 2560. ข่าวกรมชลประทาน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. http://water.rid.go.th/news/news_60_158.htm (25 กุมภาพันธ์ 2561).
- กลุ่มงานติดตามประเมินสถานการณ์ กตป. 2563. 31 มีนาคม 2563 จัปตาเดือนเมษายน น้ำทะเลหนุนสูงเพิ่มระบายน้เข้าพระยาเจ้าเจียง. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. <https://www.onep.go.th/31-มีนาคม-2563-จัปตาเดือนเมษายน> (4 กันยายน 2563).
- เกียรติศักดิ์ สนศรี, นภาพร พันธุ์มลศิลป์, สุชาดา กรุณา, วิภาวรรณ ท้ายเมือง และยุทธนา พันธุ์มลศิลป์. 2563. อิทธิพลของน้ำทะเลหนุนต่อความแปรปรวนของความเค็มของดินในพื้นที่การเกษตรจังหวัดปทุมธานี. *วารสารแก่นเกษตร* 48(5): 1028-1041.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. *คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน*. พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพฯ: เท็ก แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด.
- คลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ. 2563. ติดตามสภาพอากาศ. สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ. <http://www.thaiwater.net/weather/rainfall> (28 สิงหาคม 2564).
- นภาพร วงษ์โพธิ์หอม, เอิบ เขียววันมัย และอัญชลี สุทธิประการ. 2550. สภาพแวดล้อมในการแพร่กระจายและสมบัติของดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือในแอ่งโคราช ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. ใน *เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45: สาขาพืช*. น. 326-333. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- รัตนารัตนารักษ์. 2557. สาเหตุน้ำทะเลหนุนสูงในแม่น้ำเจ้าพระยา ในปี 2557. กลุ่มงานตะกอนและคุณภาพน้ำ. https://hugepdf.com/download/1--5b361be59732b_pdf (20 กุมภาพันธ์ 2561).
- ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. 2563. สภาพอากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2562. กรมอุตุนิยมวิทยา. https://www.tmd.go.th/programs/uploads/yearlySummary/yearly_2562_th.pdf (3 มีนาคม 2564).
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. 2559. บันทึกเหตุการณ์ภัยแล้งปี 2558/2559. <http://tiwrm.hii.or.th/current/2016/drought59/menu.html> (20 กุมภาพันธ์ 2561).
- สมศรี อรุณินท์. 2539. *ดินเค็มในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร.
- อรรยามณีขำ, ปุณยวีร์ สวรรยาพานิช และจิรพงษ์ เหล่าน้ำใส. 2558. *สรุปผลการป้องกันและบรรเทาสถานการณ์ภัยแล้ง ปีพุทธศักราช 2558-2559*. กรุงเทพฯ: ศูนย์ป้องกันวิกฤตน้ำ, กรมทรัพยากรน้ำ.
- อรุณี ยูวณิคม. 2539. *การจัดการแก้ไขปัญหาดินเค็ม*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร.
- Ayers, R. S. and Westcot, D. W. 1985. *Water quality for agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Chaowiwat, W., Boonya-aroonnet, S., and Weesakul, S. 2016. Impact of climate change assessment on agriculture water demand in thailand. *Naresuan University Engineering Journal* 11: 35-42.
- Church, J. A. and White, N. J. 2011. Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century. *Surveys in Geophysics* 32: 585-602.
- Intaboot, N., and Taesombat, W. 2014. Longitudinal salinity intrusion and dispersion along the tha chin river due to sea level rise. *Journal of Science and Technology* 3(2): 71-86.
- Phankamolsil, N., Sonsri, K., and Phankamolsil, Y. 2021. Consequence of seawater intrusion on soil properties in agricultural areas of Nonthaburi province, Thailand. *Applied Environmental Research* 43(2): 77-92.
- Poochai, K., Phankamolsil, N., Poolsab, P., and Sonsri, K. 2017. Influences of brine shrimp farming on chemical properties of soil and water in the surrounding areas that possess coarse to medium textured soils. In *Proceedings of 13th International Conference of the East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies*. pp.145-152. held on 12-15 December 2017, Pattaya, Thailand: n.p.
- Queensland Government. 2014. Soil sodicity. <https://www.qld.gov.au/environment/land/management/soil/soilproperties/sodicity> (3 August 2021).
- R Development Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> (25 May 2021).
- Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D. and Clesceri, L. S. 2012. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 22nd ed. Washington, D.C.: American Public Health Association.
- Sonsri, K., and Phankamolsil, N. 2019. The properties of soil as impacted by sea level rise in the dry season: a case study of Nonthaburi province, Thailand. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Institute of Physics Publishing.
- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington, D.C.: Government Printing Office.
- Williams, S. J., Gutierrez, B. T., Titus, J. G., Gill, S. K., Cahoon, D. R., Thieler, E. R., Anderson, K.E., et al. 2009. Sea-level rise and its effects on the coast. In *Coastal Sensitivity to Sea-Level Rise: A Focus on the Mid-Atlantic Region*, J. G. Titus, ed. pp. 11-14. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.

วันรับบทความ (Received date) : 16 ก.ย. 64

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 6 พ.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 11 พ.ค. 65

ผลของระดับการเพาะเลี้ยงไรแดง (*Moina macrocopa*) ความหนาแน่นสูงโดยการใช้สาหร่าย คลอเรลล่าผงเป็นแหล่งอาหารต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต

The Effect of High Level Stocking Density of *Moina* (*Moina macrocopa*) Fed with Dried *Chlorella* sp. Powder as a Food Source on Growth Performance

ธนากร ทราเจริญ^{1*} พงศ์เชษฐ พิชิตกุล¹ อิศริยา วุฒิสินธุ์¹ และสุริยัน ธัญกิจจานุกิจ¹
Thanakon Tharajaroen^{1*}, Phongchate Pichitkul¹, Idsariya Wudtisinn¹ and Suriyan Tungkijjanukij¹

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพาะเลี้ยงไรแดงที่ระดับความหนาแน่นสูงโดยการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าผงเป็นแหล่งอาหารภายใต้ระบบการเลี้ยงแบบหนาแน่นที่มีการจัดการคุณภาพน้ำ และการให้อาหารแบบต่อเนื่องตลอดช่วงการทดลอง โดยทำการศึกษาอัตราการปล่อยไรแดง 2 ระดับคือ 0.2 กรัม/ลิตร (1,655.56±19.24 ตัว/ลิตร) และ 0.5 กรัม/ลิตร (2,844.44±19.24 ตัว/ลิตร) ทดลองเพาะเลี้ยงไรแดงในถังทดลองขนาด 2,000 ลิตร ที่มีการจัดการคุณภาพน้ำและการให้อาหารแบบอัตโนมัติ โดยจัดชุดการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ชุด และมีอัตราการให้อาหารด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าผง ที่ระดับ 0.2 กรัม/ลิตร ตลอดช่วงการทดลอง ผลการศึกษาพบว่าไรแดงทั้งสองชุดการทดลองมีอัตราการเพิ่มจำนวนตัวสูงสุดในเวลา 48 ชั่วโมงเท่ากับ 4,322.22±126.11 และ 7,233.34±33.35 ตัว/ลิตร ตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองในเวลา 96 ชั่วโมง อัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรต่อวัน ร้อยละของของประชากรไรแดงเกิดใหม่ และการเพิ่มจำนวนไรแดงทั้งหมดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าผงดังกล่าวยังสามารถควบคุมค่าคุณภาพน้ำให้มีค่าอยู่ในระดับปกติเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของไรแดง ผลการศึกษานี้จึงเป็นแนวทางในการวางแผนการผลิตไรแดงให้มีประสิทธิภาพและมีคุณภาพต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: ไรแดง สาหร่ายคลอเรลล่าผง การเพาะเลี้ยงไรแดงความหนาแน่นสูง อัตราการปล่อย

Abstract

The objective of this research was to study the effects of high density of *Moina* (*Moina macrocopa*) culture system fed with dried *Chlorella* powder as a food source. The experiments were conducted in 2 levels of stocking density of *Moina* [0.2 (1,655.5±19.2 individual/L), 0.5 (2,844.4±19.2 individual/L) g/l (wet weight)] in 2,000 liter cultural tanks that had automated water quality and feed adjustment. The experiment were arranged into Complete Randomized Design (CRD) with three replications. Dried *Chlorella* powder at 0.2 g/l was used throughout the experimental period. The results showed that the maximum numbers of *Moina* were displayed in both experiments within a 48-hour culture period (4,322.22±126.11 and 7,233.34±33.35 individual/L respectively). The rate of population increase and percentage of new population were not statistically different ($P>0.05$). Moreover, this system can control the water quality at a suitable level for the growth and reproduction of *Moina*. Thus, the results of this study can be applied for *Moina* production planning in order to increase the biomass and quality of *Moina* in the future.

Keyword: *Moina*, dried *Chlorella* sp. powder, high density *Moina* culture system, stocking density

¹ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹Department of Aquaculture, Faculty of Fisheries, Kasatsart University 50 Ngamwongwan Rd, Chatuchak Bangkok 10900 Thailand

*Corresponding author, Email: thanakon.t@ku.th

คำนำ

ปัจจัยที่มีความสำคัญประการหนึ่งซึ่งเป็นข้อจำกัดของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำให้ประสบความสำเร็จก็คือการเตรียมอาหารสัตว์น้ำวัยอ่อนที่มีปริมาณและคุณภาพให้เพียงพอต่อความต้องการของอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์น้ำ (Arimoro, 2006) แต่อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันการผลิตอาหารสัตว์น้ำวัยอ่อนดังกล่าวยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น การควบคุมคุณภาพและปริมาณของอาหารสัตว์น้ำวัยอ่อนให้มีความคงที่โดยเฉพาะในช่วงที่สภาพภูมิอากาศแปรปรวนและนอกจากนี้ยังประสบปัญหาการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคที่มาจากกระบวนการเพาะเลี้ยงได้เช่นกัน ตัวอย่างเช่น การผลิตไรแดง การผลิตหนอนแดง และการผลิตโรติเฟอร์ เป็นต้น (Lamaissee and Areechod, 2005)

ไรแดง (*Moina macrocopa*) เป็นแพลงก์ตอนสัตว์ขนาดเล็กไม่มีกระดูกสันหลังในกลุ่ม crustacean มีขนาดเล็กประมาณ 0.4-1.8 มิลลิเมตร ไรแดงถือได้ว่าเป็นอาหารมีชีวิตที่มีความสำคัญและนิยมนำมาใช้ในการอนุบาลลูกสัตว์น้ำวัยอ่อนที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจทั้งลูกสัตว์น้ำจืดและลูกสัตว์น้ำเค็ม เช่น ปลาดุก ปลาแรด ปลากะพงขาว และกุ้งก้ามกราม เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมถึงปลาสร้อยงามอีกหลายชนิด (Islam et al., 2017) เนื่องจากไรแดง มีสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำวัยอ่อน ส่งผลให้สัตว์น้ำวัยอ่อนมีการเจริญเติบโตดีและมีอัตราการรอดตายสูง (Rottmann et al., 2016) ในอดีตการเก็บรวบรวมไรแดงนิยมเก็บเกี่ยวจากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือโรงฆ่าสัตว์ แต่พบว่าไรแดงที่เก็บรวบรวมได้มีคุณภาพและปริมาณไม่สม่ำเสมอโดยจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาและฤดูกาลเป็นสำคัญ อีกทั้งยังเป็นพาหะนำโรคมาสู่สัตว์น้ำวัยอ่อนได้อีกด้วย จึงทำให้การอนุบาลลูกสัตว์น้ำวัยอ่อนไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควรและยังเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงและการอนุบาลลูกสัตว์น้ำวัยอ่อนตามมาในที่สุด

ในปัจจุบันการผลิตไรแดงนิยมทำการผลิตในระบบการเก็บเกี่ยวแบบครั้งเดียว (batch culture) โดยใช้แพลงก์ตอนพืชแบบสดหรือน้ำเขียวเป็นแหล่งอาหาร แต่อย่างไรก็ตามการผลิตไรแดงด้วยระบบดังกล่าว ถึงแม้ว่าจะเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในโรงเพาะฟักสัตว์น้ำแต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องปริมาณผลผลิตที่ไม่สามารถทำการผลิตได้ในระดับความหนาแน่นที่สูงเนื่องจากปัญหาการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในระหว่างการเลี้ยง และนอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในการเตรียมแพลงก์ตอนพืชให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งจะต้องใช้พื้นที่และแรงงานจำนวนมากในขั้นตอนดังกล่าว (มนทกานติ ท้ามตัน และคณะ, 2551) จากสาเหตุดังกล่าวจึงทำให้เกิดปัญหาการจัดเตรียมไรแดงไม่เพียงพอต่อการนำมาอนุบาลลูกสัตว์น้ำในที่สุด (Dhert et al., 2001) เพื่อเป็นการแก้ปัญหาการผลิตไรแดงในข้างต้น จึงได้มีการศึกษาการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าผงเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารของไรแดงทดแทนการใช้แพลงก์ตอนพืชแบบสด จากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าผงที่ระดับ 0.2 กรัม/ลิตร โดยมีอัตราการปล่อยไรแดง 0.2 กรัม/ลิตร สามารถนำมาใช้ในการผลิตไรแดงในห้องปฏิบัติการได้เป็นผลสำเร็จ (ธัชพล การะเกตุ และคณะ, 2561) ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเพาะเลี้ยงไรแดงในระบบการเลี้ยงความหนาแน่นสูงที่มีการให้อาหารด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าผงภายใต้ระบบการเลี้ยงที่มีการควบคุมปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของไรแดง โดยการทำงานร่วมกับชุดอุปกรณ์เซ็นเซอร์และชุดอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ และทำการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงไรแดง เพื่อเป็นแนวทางในการยกระดับการผลิตไรแดงแบบมหาวลให้มีความหนาแน่นสูงสุดต่อไปในอนาคต

วิธีการศึกษา

การเตรียมไรแดง

นำพ่อแม่พันธุ์ไรแดงจากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดราชบุรี จังหวัดราชบุรีมาทำการเลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 2,000 ลิตร โดยใช้น้ำที่ผ่านการกรองและพักไว้ในถังเก็บน้ำ เพื่อปรับสภาพของไรแดงให้เข้ากับสภาพการทดลองโดยใช้สาหร่ายคลอเรลล่าผงเป็นแหล่งอาหาร โดยมีการจัดการคุณภาพน้ำในด้านต่าง ๆ ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไรแดง

การเตรียมสาหร่ายคอลเรลล่าผง

สาหร่ายคอลเรลล่าผงที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้นำเข้ามาจากบริษัท Shaanix Aoji Biotechnology Co., Ltd. ประเทศจีน ซึ่งมีระดับของโปรตีนร้อยละ 55 ความชื้นร้อยละ 8 ไขมันร้อยละ 12 เยื่อใยร้อยละ 5 เถ้าร้อยละ 17 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 12 ตามลำดับ โดยวิธีการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer)

การวางแผนการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบการผลิตไรแดงความหนาแน่นสูง โดยใช้สาหร่ายคอลเรลล่าผงเป็นแหล่งอาหารและมีการควบคุมปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไรแดง โดยทำการเลี้ยงร่วมกับชุดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำและอุปกรณ์ชุดรับส่งสัญญาณแบบออนไลน์ โดยทำการปรับค่าออกซิเจนละลายและปริมาณอาหาร ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมผ่านอุปกรณ์ระบบอัตโนมัติแบบออนไลน์ (Internet of Things; IoT) การทดลองในครั้งนี้จัดชุดการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design; CRD) ทำการทดลองเพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มความหนาแน่นในการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงลงในระบบการเลี้ยง โดยแบ่งออกเป็นทำการทดลองจำนวน 2 ชุดการทดลอง (การทดลองชุดละ 3 ซ้ำ) ตามระดับการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงเริ่มต้น ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ความหนาแน่นของไรแดงพ่อแม่พันธุ์ที่ระดับ 0.2 กรัม/ลิตร เป็นตัวแทนชุดการทดลองของระดับการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงที่ทำการเลี้ยงด้วยสาหร่ายคอลเรลล่าผงที่เหมาะสมและให้ผลผลิตไรแดงมากที่สุดในระดับห้องปฏิบัติการตามวิธีการศึกษาของรัชพล กระเกตุ และคณะ (2561)

ชุดการทดลองที่ 2 ความหนาแน่นของไรแดงพ่อแม่พันธุ์ที่ระดับ 0.5 กรัม/ลิตร เป็นตัวแทนชุดการทดลองเพิ่มระดับอัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงที่ระดับสูงขึ้นไปเพื่อศึกษาการประสิทธิภาพของระบบการเลี้ยงที่พัฒนาขึ้น

การเพาะเลี้ยงไรแดง

ระบบการเลี้ยงไรแดงความหนาแน่นสูง

ถังเลี้ยงเป็นถังพลาสติกทรงกลมปริมาตร 2,000 ลิตร ภายในถังเลี้ยงมีระบบทำความสะอาดขบถัดด้านใน (cleaning arm) สามารถปรับความเร็วและช่วงเวลาทำความสะอาดได้ ระบบการเลี้ยงมีระบบทางน้ำเข้าจากถังพักน้ำ และมีทางน้ำออกที่สามารถปรับอัตราการไหลออกของน้ำได้ในหน่วยลิตร/ชั่วโมง นอกจากนี้ที่ขบถัดด้านในยังติดตั้งแผ่นทำความสะอาด (filter mat) เพื่อดักจับสารอินทรีย์แขวนลอยที่เกิดขึ้นในระบบ

ระบบน้ำ น้ำที่ใช้ในการเลี้ยงเป็นน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อ และผ่านการกรองน้ำผ่านถุงกรองขนาดตา 5 และ 1 ไมครอนตามลำดับ จากนั้นจึงทำการนำน้ำผ่านระบบกรองคาร์บอน (carbon filter) จึงนำมาเก็บในถังพักน้ำก่อนนำไปทำการทดลอง

การจัดการระหว่างการเลี้ยง

อุณหภูมิ (temperature) ควบคุมอุณหภูมิภายในระบบการเลี้ยงให้มีค่าอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส ตลอดช่วงของการเลี้ยง โดยการควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (heater)

ออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen) ควบคุมระดับค่าออกซิเจนละลายภายในระบบการเลี้ยงให้มีค่ามากกว่า 4 มิลลิกรัม/ลิตร ตลอดช่วงของการเลี้ยง โดยการควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายด้วยเซ็นเซอร์ (sensor) และทำการเติมแก๊สออกซิเจนบริสุทธิ์ลงในน้ำด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายออกซิเจนแบบอัตโนมัติจนถึงระดับในช่วง 4-7 มิลลิกรัม/ลิตร

อัตราการไหลของน้ำ (water flow) ควบคุมอัตราการไหลผ่านของน้ำในระบบการเลี้ยงให้อยู่ในช่วงร้อยละ 15-20 ของระบบตลอดช่วงการทดลอง เพื่อเป็นการลดการสะสมของสารอินทรีย์ในรูปสารพิษ ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 20 ลิตร/นาที่

การจัดการอาหาร อาหารที่ใช้ในการเลี้ยงตลอดช่วงการทดลองโดยใช้สาหร่ายผงคลอเรลล่าผงที่ระดับ 0.2 กรัม/ลิตร ด้วยปั๊มจ่ายสารละลาย (dosing pump) โดยจะทำการประเมินระดับของสาหร่ายคลอเรลล่าผงในระบบการเลี้ยงให้มีค่าคงที่ตลอดช่วงการทดลองด้วยการวัดค่าความเข้มแสง (optical density, O.D.) โดยใช้เครื่องมือวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) วันละ 2 ครั้งในเวลาช่วงเช้าและเย็น ซึ่งจะมีค่าความขุ่น O.D. เท่ากับ 42 ตลอดช่วงการทดลอง

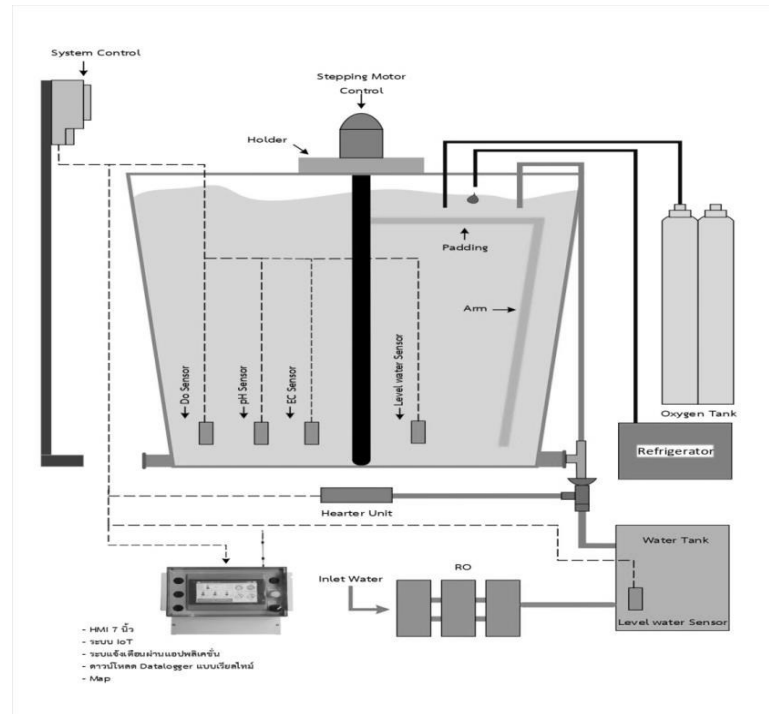


Figure 1 Schematic diagram of a high density *Moina* culture system with sensors.

การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การสุ่มนับจำนวน ทำการสุ่มนับจำนวนไรแดงตลอดช่วงการทดลองวันละ 2 ครั้งในช่วงเช้าและเย็น โดยทำการสุ่มเก็บน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร จำนวน 3 ตำแหน่งคือ บริเวณผิวน้ำ กลางน้ำ และพื้นบ่อทดลอง ตามลำดับ นับจำนวนไรแดงภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป (stereo microscope) เพื่อหาค่าเฉลี่ยจำนวนตัวต่อลิตร และบันทึกผลจำนวนตัวของไรแดงรุ่นที่เกิดขึ้นใหม่ และนำข้อมูลมาใช้ในการคำนวณอัตราการให้อาหารและศึกษาอัตราการเจริญเติบโตการเพิ่มจำนวนของไรแดง ดังนี้ อัตราการเพิ่มขึ้นของประชากร (rate of population increase, r) ตามสูตร คือ $r = (\ln N_t - \ln N_0) / t$ เมื่อ N_t คือ จำนวนไรแดงสุดท้าย, N_0 คือจำนวนไรแดงเริ่มต้น และ t คือจำนวนวันในการเลี้ยง

การตรวจวัดคุณภาพน้ำ ทำการตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำที่มีความสำคัญต่อระบบการเลี้ยงวันละ 2 ครั้งเวลา 9.00 น. และ 17.00 น. ได้แก่ ปริมาณแอมโมเนียรวม (total ammonia nitrogen, TAN) และไนไตรท์ (nitrite) ความเป็นด่าง (alkalinity) และความกระด้าง (hardness) ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (Baird et al., 2015)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำผลการศึกษา ได้แก่ อัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรต่อวัน ร้อยละของของประชากรไรแดงเกิดใหม่ และการเพิ่มจำนวนไรแดงทั้งหมด มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมดด้วยวิธี independent sample t test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS version 27 (IBM Corp.)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโตของไรแดง

ผลการเลี้ยงไรแดงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าผงที่อัตราการปล่อยฟอแมพันธุ์ไรแดงเริ่มต้นที่ระดับ 0.2 และ 0.5 กรัม/ลิตร พบว่าไรแดงทั้งสองชุดการทดลองมีแนวโน้มที่เพิ่มอย่างรวดเร็ว โดยมีจำนวนตัวสูงสุดในเวลา 48 ชั่วโมง หรือวันที่ 2 ของการทดลอง โดยมีการเพิ่มจำนวนตัวเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ $4,322.22 \pm 126.11$ และ $7,233.34 \pm 33.35$ ตัว/ลิตร ตามลำดับ (Figure 2) ผลจากการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ธัชพล การะเกตุ และคณะ (2561) ที่รายงานว่าผลของการเลี้ยงไรแดงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าผงในอัตราการปล่อยฟอแมพันธุ์ไรแดงเริ่มต้นเท่ากับ 0.2 กรัม/ลิตร จะมีอัตราการเพิ่มจำนวนประชากรไรแดงสูงสุดในระยะเวลา 2 วัน และนอกจากนี้ยังพบว่าผลการศึกษาในครั้งนี้แตกต่างกับผลการศึกษาของ Sipaub-Tavarez et al. (2017) ที่รายงานว่า การเลี้ยงไรแดงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่ามีชีวิต (*Chorella* sp.) ที่ระดับความหนาแน่นของเซลล์ 4×10^6 เซลล์/มิลลิลิตร จะมีการเพิ่มจำนวนไรแดงสูงสุดส่วนใหญ่ในวันที่ 3-5 ในการเลี้ยงซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของไรแดง

การที่ไรแดงที่ทำการเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่ามีชีวิตหรือน้ำเขียวมีช่วงเวลาของการเพิ่มจำนวนที่ยาวนานกว่าไรแดงที่ทำการเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าผง กล่าวคือใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 72 ชั่วโมง หรือ 3 วันของการเลี้ยง อาจเป็นผลมาจากการใช้สาหร่ายคลอเรลล่ามีชีวิตจะส่งผลต่ออัตราการขยายพันธุ์ของไรแดงในช่วงแรกของการเพิ่มจำนวน เนื่องจากไรแดงเกิดความเครียดจึงทำให้ไรแดงปรับตัวเข้ากับสภาวะในการเจริญเติบโตได้ช้ากว่าการเลี้ยงโดยใช้สาหร่ายคลอเรลล่าผง นอกจากนี้การใช้สาหร่ายคลอเรลล่ามีชีวิตจะทำให้ปริมาณแอมโมเนียเพิ่มสูงขึ้นกว่าการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าผง เนื่องจากในขั้นตอนการขยายพันธุ์สาหร่ายคลอเรลล่ามีชีวิตจะมีการใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเป็นแหล่งอาหารและในระบบการเลี้ยงจะมีการสะสมของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษมากขึ้นจากการตายของสาหร่าย (Sarma et al., 2002) นอกจากนี้การใช้สาหร่ายคลอเรลล่ามีชีวิตอาจมีการปนเปื้อนของโปรโตซัวและแบคทีเรียที่อาจส่งผลยับยั้งอัตราการเจริญเติบโตของไรแดงในช่วงระยะเริ่มต้นของการขยายพันธุ์ได้ (Lamaisse and Areechod, 2005) ประกอบกับกระบวนการผลิตสาหร่ายคลอเรลล่าผงเมื่อสาหร่ายถูกทำให้แห้งจะทำให้ผนังเซลล์ของสาหร่ายคลอเรลล่าเปลี่ยนสภาพและบางลงทำให้ง่ายต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ต่าง ๆ (Mostary et al., 2007) อาจเป็นผลให้ไรแดงสามารถนำสารอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ง่ายกว่าการใช้คลอเรลล่าแบบสด

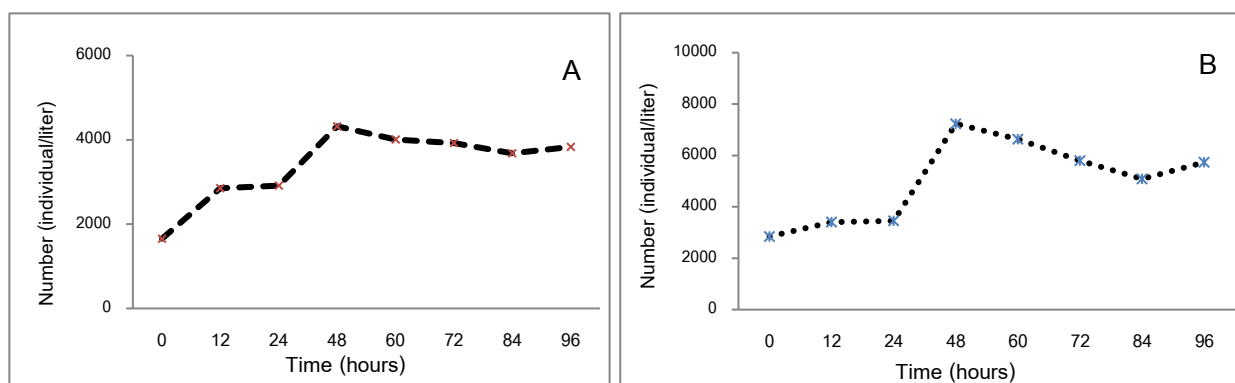


Figure 2 The number of Moina fed with dried *Chlorella* sp. powder with different stocking densities.

(A) 0.2 g/l, (B) 0.5 g/l at 96-hours culture period.

อัตราการเพิ่มจำนวนประชากรไรแดง

ผลการศึกษาอัตราการเพิ่มจำนวนประชากรของไรแดงในทั้งสองชุดการทดลอง พบว่าอัตราการเพิ่มจำนวนประชากรไรแดงทั้งสองชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการทดลองโดยจะมีอัตราการเพิ่มจำนวนประชากรสูงสุดในเวลา 24 ชั่วโมง (Table 1) และ (Figure 3) การเปลี่ยนแปลงของอัตราการเพิ่มจำนวนประชากรไรแดงในช่วงระยะเวลา 24 ชั่วโมงของชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.479 ± 0.013 และ 0.467 ± 0.001 ตัว/วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าอัตราการเพิ่มจำนวนประชากรไรแดงของทั้งสองชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบผลจาก

การศึกษาในครั้งนี้พบว่าอัตราการเพิ่มจำนวนประชากรของไรแดงของทั้งสองชุดการทดลองมีค่ามากกว่าผลการศึกษาอัตราการเพิ่มจำนวนประชากรของไรแดงที่เวลา 2 วัน (48 ชั่วโมง) ของ ธัชพล การะเกตุ และคณะ (2561) ที่รายงานว่า การเลี้ยงไรแดงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าผงโดยมีอัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงที่ระดับ 0.2 กรัม/ลิตร และมีอัตราการให้สาหร่ายคลอเรลล่าผงเป็นอาหารที่ระดับ 0.2 กรัม/ลิตร ซึ่งเท่ากับการทดลองในครั้งนี้ นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบกับอัตราการเพิ่มจำนวนประชากรของไรแดงจากผลการศึกษาของ สราจิต โกวิทวธิ (2541) ที่รายงานว่า การเลี้ยงไรแดงด้วยแบคทีเรีย (*Bacillus subtilis*) ที่ระดับความขุ่น O.D. เท่ากับ 0.2 โดยมีอัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงที่ระดับ 0.5-2.5 กรัม/ลิตร พบว่ามีอัตราการเพิ่มจำนวนประชากรของไรแดงใกล้เคียงกับผลการศึกษาในครั้งนี้ ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นว่าถึงแม้จะเพิ่มอัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงให้สูงขึ้นแต่ก็ไม่ส่งผลต่ออัตราการเพิ่มจำนวนประชากรของไรแดง (ตัว/วัน) ให้มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงได้ อาจเป็นผลมาจากการที่มีจำนวนประชากรไรแดงเพิ่มขึ้นมากเกินไป (crowded condition) จะส่งผลให้มีการหึ่งและการสะสมของของเสียต่าง ๆ มากขึ้นจะมีผลต่อพฤติกรรมและการกินอาหารจึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของไรแดงมีแนวโน้มที่ลดลงตามระยะเวลาในการเลี้ยง (Din and Altaff, 2010)

Table 1 The rate of population increases of *Moina* (individual/day) at 96-hours culture period.

Time (hours)	Stocking density (g/l)		P-Value
	0.2	0.5	
24	0.519±0.014 ^a	0.561±0.043 ^a	0.185
48	0.479±0.013 ^a	0.467±0.001 ^a	0.171
72	0.238±0.007 ^a	0.241±0.006 ^a	0.583
96	0.210±0.005 ^a	0.219±0.042 ^a	0.720

*The value (Mean±SD) in the same row having different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

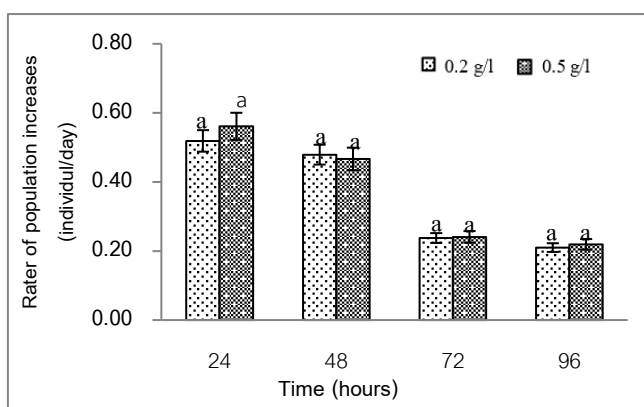


Figure 3 The rate of population increases of *Moina* (individual/day) at 96-hours culture period with 2 levels of stocking density of *Moina*.

*The values with the same letter above the bars were not significantly different ($P > 0.05$).

การเพิ่มจำนวนประชากรไรแดง

การเปลี่ยนแปลงประชากรไรแดงที่เกิดขึ้นใหม่

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรไรแดงที่เกิดขึ้นใหม่ตลอดช่วงการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 มีแนวโน้มของการเพิ่มประชากรไรแดงที่เกิดขึ้นใหม่เพิ่มมากขึ้นจนถึงช่วงเวลา 60 ชั่วโมง สอดคล้องกัน

ทั้งสองชุดการทดลอง โดยพบว่ามีย่อยละของการเพิ่มจำนวนไรแดงเกิดใหม่มากที่สุดในเวลา 60 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 89.4 ± 7.52 และ 91.3 ± 8.23 ตามลำดับ และพบว่าจะมีแนวโน้มลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองในเวลา 96 ชั่วโมง ของการทดลอง (Figure 4) เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของการเพิ่มจำนวนไรแดงที่เกิดขึ้นใหม่ในทุก ๆ 12 ชั่วโมง ของทั้งสองชุดการทดลอง พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (Figure 5)

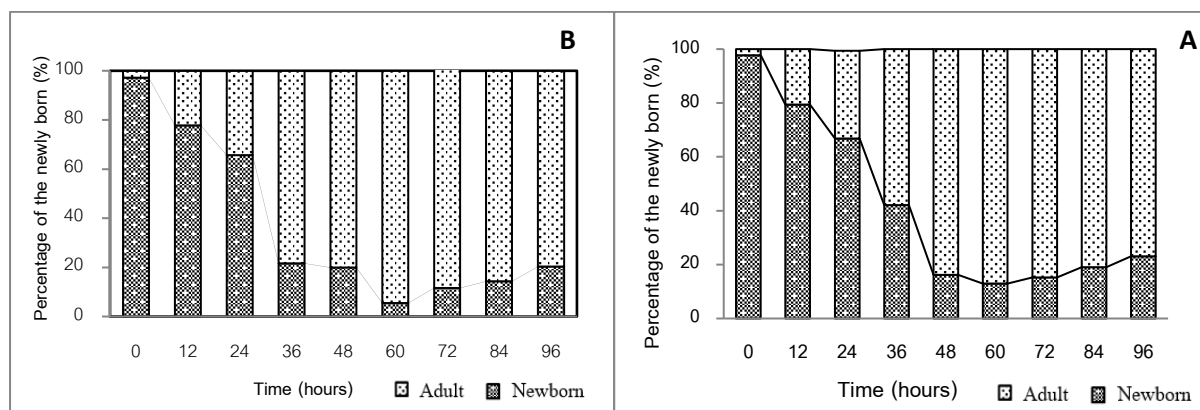


Figure 4 The percentage of the newly born of *Moina* throughout culture period with 2 levels of stocking density (A) 0.2 g/l and (B) 0.5 g/l.

การที่จำนวนไรแดงที่เกิดขึ้นใหม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีจำนวนตัวของไรแดงเกิดใหม่สูงที่สุดในช่วงเวลา 60 ชั่วโมง อาจเป็นสาเหตุจากไรแดงที่มีอัตราการเกิดอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทดลองโดยเฉพาะในช่วงเวลา 12-48 ชั่วโมง ที่มีอัตราการเกิดของไรแดงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งถึงระดับที่มีความหนาแน่นของประชากรไรแดงสูงที่สุดในช่วงเวลา 60 ชั่วโมง และเริ่มลดจำนวนลงในช่วงเวลา 72-96 ชั่วโมง ตามลำดับ จำนวนประชากรไรแดงในระบบการเลี้ยงของทั้ง 2 ชุดการทดลองจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามรอบการเจริญเติบโตของไรแดงในสภาวะที่มีอาหารอุดมสมบูรณ์และอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมโดยจะมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (parthenogenesis) ที่จะเพิ่มจำนวนสูงสุดในเวลา 60 ชั่วโมง (สันทนา ดวงสวัสดิ์ และคณะ, 2524) นอกจากนี้ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Okunsebor (2014) ที่รายงานว่าไรแดงสามารถที่จะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้นจนถึงระดับที่มีประชากรของไรแดงมากเกินไปจะส่งผลให้จำนวนประชากรของไรแดงลดลงตามมาในที่สุด

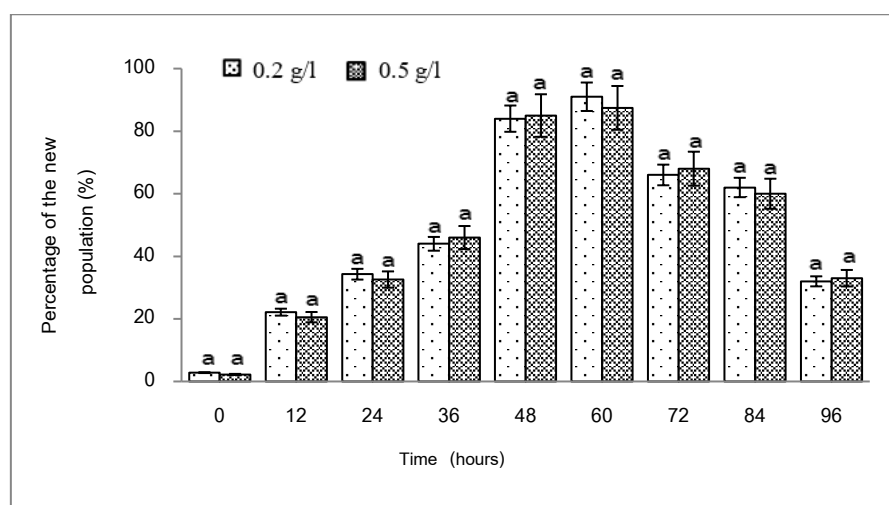


Figure 5 Percentage of the new population of *Moina* throughout culture period compared with 2 levels of stocking density.

*The values with the same letter above the bars were not significantly different ($P > 0.05$).

จำนวนไรแดงที่เพิ่มขึ้น

ผลการศึกษาจำนวนไรแดงที่เพิ่มขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับจำนวนไรแดงเริ่มต้น (เท่า) ตลอดช่วงการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 มีแนวโน้มการเพิ่มจำนวนประชากรไรแดงที่เพิ่มขึ้นใหม่ตั้งแต่ช่วงเวลา 12-48 ชั่วโมง สอดคล้องกันทั้งสองชุดการทดลอง มีค่าเฉลี่ยการเพิ่มขึ้นของจำนวนไรแดงเกิดใหม่สูงสุดที่เวลา 48 ชั่วโมง เท่ากับ 3.3 ± 0.1 และ 3.1 ± 0.1 เท่า ตามลำดับ หลังจากนั้นการเพิ่มของจำนวนประชากรไรแดงจะมีแนวโน้มที่ลดลง สอดคล้องกันทั้งสองชุดการทดลอง นอกจากนี้พบว่าการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงเริ่มต้นที่ระดับ 0.2 กรัม/ลิตร และการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงเริ่มต้นที่ระดับ 0.5 กรัม/ลิตร จะมีการเพิ่มประชากรที่เกิดใหม่ในทุก ๆ 12 ชั่วโมง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (Figure 6)

การเพิ่มจำนวนไรแดง (เท่า) ของทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันถึงแม้ว่าจะเพิ่มอัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงให้มีปริมาณมากขึ้นก็พบว่าไม่สามารถเพิ่มจำนวนไรแดง (เท่า) ให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามอัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงได้ อาจเนื่องมาจากไรแดงในรุ่นพ่อแม่พันธุ์สามารถให้กำเนิดไรแดงรุ่นลูกได้เพียง 8-14 ตัว/แม่ จึงอาจเป็นข้อจำกัดในการเพิ่มจำนวนประชากรของไรแดงทั้งหมด (สันทนา ดวงสวัสดิ์ และคณะ, 2524) ผลจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนไรแดงสูงสุดที่เวลา 48 ชั่วโมงมีค่ามากกว่าการศึกษาของ ธัชพล การะเกตุ และคณะ (2561) ที่รายงานว่าผลของการเลี้ยงไรแดงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าฝงที่ระดับ 0.2 กรัม/ลิตร ที่มีอัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงเริ่มต้นเท่ากับ 0.1-0.5 กรัม/ลิตร ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง จะมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนไรแดงอยู่ในช่วง 1.7-1.9 เท่า

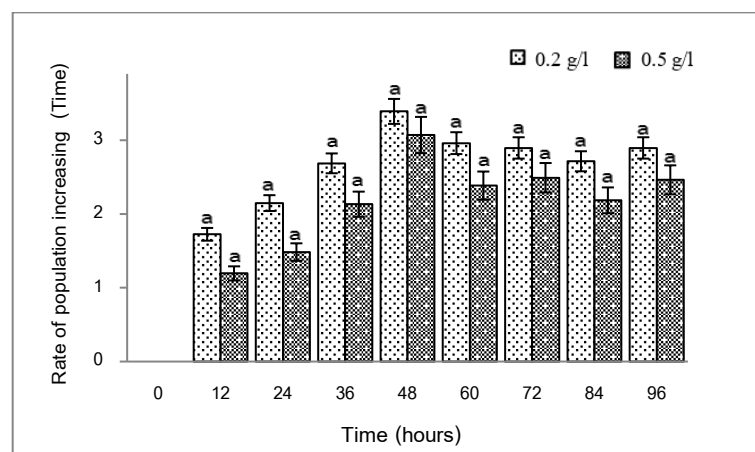


Figure 6 The rate of population increasing (time) by time of culture.

*The values with the same letter above the bars were not significantly different ($P > 0.05$).

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำภายในระบบ

การศึกษากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของไรแดงในระบบการเลี้ยงของทั้ง 2 ชุดการทดลองเป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย (Table 3) จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงและการควบคุมคุณภาพน้ำที่สำคัญบางประการที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไรแดงในระบบการเลี้ยงไรแดงแบบหนาแน่น พบว่าปริมาณออกซิเจนละลาย ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ค่าความเป็นด่าง และค่าความกระด้างของทั้งสองชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าปริมาณแอมโมเนียรวม และไนไตรท์ของทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 3) โดยพบว่าปริมาณแอมโมเนียรวม และไนไตรท์ของทั้ง 2 ชุดการทดลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามช่วงระยะเวลาของการทดลอง โดยที่ช่วงของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำดังกล่าวของทั้ง 2 ชุดการทดลองจะมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของไรแดงตามการศึกษาของ Tangam et al. (2005) และไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของไรแดง ผลจากการศึกษาในครั้งนี้สามารถบ่งบอกได้ว่าการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าฝงร่วมกับระบบการเพาะเลี้ยงไรแดงแบบหนาแน่นมีประสิทธิภาพในการควบคุมค่าคุณภาพน้ำให้อยู่ในระดับที่ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของไรแดง และเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงไรแดง

แบบกลางแจ้งในบ่อซีเมนต์ของ ทวี วิพุทธานุมาศ และทัศนีย์ สุขสวัสดิ์ (2533) และการศึกษาของ ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล และคณะ (2532) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงดังกล่าว มีช่วงของการเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพน้ำที่ค่อนข้างกว้าง เช่น การเปลี่ยนแปลงของค่าออกซิเจนละลายและค่าความเป็นกรด-ด่าง นอกจากนี้ยังมีการสะสมของสารอินทรีย์ในรูปแบบของสารพิษ เช่น ปริมาณแอมโมเนียรวม และไนไตรท์ เพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่เป็นพิษเฉียบพลันต่อไรแดง จึงอาจเป็นสาเหตุให้ประชากรไรแดงลดจำนวนลงอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาอันสั้นในที่สุด โดยเฉพาะปริมาณแอมโมเนียรวมที่เป็นปัจจัยหลักที่จำกัดการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของไรแดง นอกจากนี้ผลการศึกษาของ Xi et al. (2005) รายงานว่าปริมาณแอมโมเนียรวมที่เหมาะสมควรมีค่าไม่เกิน 4.5 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ผลจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าปริมาณแอมโมเนียรวมที่เกิดขึ้นในระบบตลอดระยะเวลาทดลอง มีค่าอยู่ในช่วงระดับที่แนะนำดังกล่าว เนื่องจากระบบมีการติดตั้งระบบน้ำไหลผ่านตลอดช่วงเวลาในการทดลองจึงเป็นการลดการสะสมของสารพิษในระบบได้ การใช้สาหร่ายคลอเรลล่าผงมาเป็นแหล่งอาหารของไรแดงในระบบการเลี้ยงดังกล่าวจึงมีความเหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่สำคัญในระบบการเลี้ยงไรแดงแบบหนาแน่นได้อย่างเหมาะสม

Table 3 Water quality parameters in *Moina* culture tanks with 2 levels of stocking density.

Parameters	Stocking density 0.2 g/l		Stocking density 0.5 g/l		P-value
	(Mean±SD)	Range	(Mean±SD)	Minimum-Maximum	
Dissolved Oxygen (mg/l)	4.87±1.214 ^a	4.02 - 7.53	4.80±1.218 ^a	4.09 - 7.67	0.097
pH	7.52±0.139 ^a	7.39 - 7.82	7.47±0.185 ^a	7.27 - 7.85	0.534
Temperature (°C)	28.97±0.123 ^a	28.8 - 29.13	28.98±0.046 ^a	28.93 - 29.30	0.874
Ammonia (mg/l)	0.762±0.511 ^a	0.01 - 1.469	0.93±0.564 ^b	0.01 - 1.539	0.000*
Nitrite (mg/l)	0.018±0.010 ^a	0.001 - 0.032	0.068±0.039 ^b	0.001 - 0.103	0.003*
Total Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)	119.84±0.836 ^a	119 - 121.67	119.96±1.145 ^a	119.3 - 121.33	0.808
Total Hardness (mg/l as CaCO ₃)	129.54±1.232 ^a	129.33 - 130.67	129.41±1.036 ^a	129.33 - 131.33	0.828

*The Value (Mean±SD) in the same row having different superscripts were significantly different (P<0.05).

สรุปผลการศึกษา

การเพาะเลี้ยงไรแดงความหนาแน่นสูงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าผงแสดงให้เห็นว่าไรแดงสามารถเพิ่มจำนวนได้สูงสุดในเวลา 48 ชั่วโมง และสามารถเพิ่มจำนวนอยู่ในช่วง 3.3-3.1 เท่าของจำนวนไรแดงเริ่มต้น โดยที่การเพิ่มระดับความหนาแน่นของพ่อแม่พันธุ์ไรแดงไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการเกิดใหม่ของประชากรไรแดงให้สูงขึ้นตามระดับของพ่อแม่พันธุ์ไรแดงที่เพิ่มขึ้นได้ การเพาะเลี้ยงไรแดงด้วยระบบในข้างต้นควรทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตไรแดงในช่วงเวลา 48 ชั่วโมงของการเลี้ยงซึ่งจะเป็นช่วงที่มีจำนวนไรแดงในระบบสูงที่สุด การใช้สาหร่ายคลอเรลล่าผงมีความเหมาะสมในการเลี้ยงไรแดงในระดับความหนาแน่นสูงได้ และนอกจากนี้การเลี้ยงไรแดงในระบบดังกล่าวยังสามารถควบคุมค่าคุณภาพน้ำให้มีความเหมาะสมและไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการขยายพันธุ์ของไรแดง นอกจากนี้การศึกษานี้ยังอาจจะมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าผงร่วมกับสาหร่ายชนิดอื่น ๆ เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพผลผลิตไรแดงต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดราชบุรี จังหวัดราชบุรี และศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์พ่อแม่พันธุ์ไรแดงสำหรับการทดลองในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ทวี วิพทุธานุมาศ และทัศนีย์ สุขสวัสดิ์. 2533. การศึกษาอัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสต่อการเพาะไรแดง. ใน รายงานประจำปี 2533 สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดปทุมธานี. กรมประมง, กรุงเทพฯ.
- ธัชพล การเกิด, ดรินทร์ธ อ่ำอ้อม, ชลธิชา ระพีพัฒนชาญชัย และปิยวัฒน์ ปองผดุง. 2561. การใช้คลอเรลล่าอบแห้งเป็นอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงไรแดงแบบหมวมวล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 27(4): 684-694.
- ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, ทวี วิพทุธานุมาศ, วีระ วัชรกรโยธิน และทัศนีย์ สุขสวัสดิ์. 2532. การเพาะเลี้ยงไรแดง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 9/2532. สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดปทุมธานี. กรมประมง, กรุงเทพฯ.
- มนทกานติ ท้ามดิน, กิตติพงษ์ สันติเสวีกุล, สุพิศ ทองรอด และแพททริค ซอจีลุส. 2551. ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของโรติเฟอร์ S-type (*Brachionus rotundiformis*) ที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำแบบหมุนเวียน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 14/2551. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง. กรมประมง, กรุงเทพฯ.
- สันทนา ดวงสวัสดิ์, ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และสมเพชร ไชยทอง. 2524. การศึกษาชีวประวัติและการเพาะเลี้ยงไรแดงเพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับสัตว์น้ำวัยอ่อน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2524. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ. กรมประมง, กรุงเทพฯ.
- สาธิต โกวิทวธี. 2541. อัตราการขยายพันธุ์สุทธิของไรแดง (*Moina macrocopa*) ที่เลี้ยงด้วยแบคทีเรีย (*Bacillus subtilis*) ในห้องปฏิบัติการ. ใน เอกสารการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 36 สาขาประมง. น. 41. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Arimoro, O. F. 2006. Culture of the freshwater rotifer (*Brachionus calyciflorus*) and its application in fish larviculture technology. *African Journal of Biotechnology* 5(7): 536-541.
- Baird, R. B., Eaton, A. D., and Rice, E. W. 2015. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23th ed. Washington: American Public Health Association.
- Dhert, P., Rombaut, G., Suantika, G., and Sorgeloos, P. 2001. Advancement of rotifer culture and manipulation techniques in Europe. *Aquaculture* 200(1): 129-146.
- Din, W. D., and Altaff, K. 2010. Culture of zooplankton for rearing fish larvae. *Pollution Research*. 29: 255-257.
- Islam, M. R., Hassan, M. R., Begum, M., Punom, N. J., Begum, M. K., Sultana, N., and Rahman, M. S. 2017. Effects of feeding zooplankton (*Moina macrocopa*) on the growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research* 52: 81-88.
- Lamaissee, J., and Areechod, N. 2005. Study on Bacterial Contamination in *Moina* sp. Culture. In *Proceedings of the 2nd Ag Biotech Graduate Conference*. Kasetsart University, Thailand.
- Mostary, S., Rahman, M.S., and Hossain, M.A. 2007. Culture of rotifer (*Brachionus angularis* Hauer) feeding with dried *Chlorella*, Univ. J. Zool. *Rajshahi University Journal of Science and Engineering* 26: 73-76.
- Okunsebor, S. A. 2014. Culture of zooplankton (*Branchionus calyciflorus*, *Moina micrura* and *Daphnia pulex*) as live food for *Heterobranchius bidorsalis* hatchlings. University of Jos, Nigeria.
- Rottmann, R. W., Graves, J. S., Watson, C., and Yanong, R. P. E. 2016. *Culture Techniques of Moina: The Ideal Daphnia for Feeding Freshwater Fish Fry*. University of Florida.
- Sarma, S. S., Bertin, S., and Nandini, S. 2002. Effect of salinity on competition between the rotifers (*Brachionus rotundiformis*) *Tschugunoff* and *Hexarthra jenkiniae* De Beauchamp. *Hydrobiologia* 474(1): 183-188.
- Sipauba-Tavares, L. H., Segali, A. L., Berchielli-Morais, F. A., and Scardoeli-Truzzi, B. 2017. Development of low-cost culture media for *Ankistrodesmus gracilis* based on inorganic fertilizer and macrophyte. *Acta Limnologica Brasiliensia* 29: 1-9.
- Tangam, W., Ritluk, A., and Chaiyawong, B. 2005. Using *Chlorella* concentrations increase productivity *Moina macrocopa*. Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi.
- Xi, Y.L., Hagiwara, A., and Sakakura, Y. 2005. Combined effects of food level and temperature on life table demography of *Moina macrocopa* Straus. *International Review of Hydrobiology* 90: 546-554.

วันรับบทความ (Received date) : 2 ก.ย. 64

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 3 ธ.ค. 64

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 9 พ.ค. 65

ผลของวุ้นหางจระเข้และน้ำสกัดใบฝรั่งต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

Effect of Aloe vera gel and Guava Leaf Extract Coating on Postharvest Quality of Mango

(*Mangifera indica*) L. cv. "Nam Dok Mai Sri Tong"

ทิศา สุนทรวิภาต¹

Thita Soonthornvipat¹

บทคัดย่อ

มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจัดว่าเป็นมะม่วงที่มีความสำคัญต่อการส่งออกของประเทศไทย แต่คุณภาพของผลผลิตส่วนใหญ่จะลดลงอย่างรวดเร็วหลังกระบวนการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากกระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลให้มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองไม่ได้คุณภาพและมาตรฐานการจำหน่ายเพื่อการส่งออก ดังนั้นการวิจัยเพื่อทดสอบผลของสารเคลือบผิวมะม่วงจากวุ้นหางจระเข้ (0, 30 และ 60%) และสารสกัดใบฝรั่ง (0, 30 และ 60%) และการผสมกันระหว่างวุ้นหางจระเข้ 15% + สารสกัดใบฝรั่งที่ความเข้มข้น 15% และวุ้นหางจระเข้ 30% + สารสกัดใบฝรั่งที่ความเข้มข้น 30% ตามลำดับ เก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2)°C ความชื้นสัมพัทธ์ (65 ± 2 %) บันทึกผลจากการสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณวิตามินซี การเปลี่ยนแปลงของสีผิว และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมคือไม่ได้เคลือบผิว พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิววุ้นหางจระเข้ 60% และสารเคลือบผิววุ้นหางจระเข้ 30% + สารสกัดใบฝรั่ง 30% ช่วยชะลอกระบวนการเปลี่ยนแปลงสีผิวของผล ลดการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณวิตามินซี การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองได้ดีที่สุด โดยผู้บริโภคมารับได้ที่ 8 วัน เมื่อเทียบกับชุดควบคุมได้ 4 วัน ($P<0.05$) ดังนั้นการใช้สารเคลือบผิวทั้งสองชนิดนี้ผสมกันจึงอาจเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในการเคลือบผิวผลผลิตอินทรีย์เพื่อการส่งออกในอนาคต

คำสำคัญ: วุ้นหางจระเข้ ใบฝรั่งสกัด น้ำดอกไม้สีทอง

Abstract

Mango cv. Nam Dok Mai Sri Tong (NDMST) is an important export fruit item for Thailand. A problem with mango fruit is the rapid quality decline after harvest, which creates troubles for the storage and export of the fruit. Moreover, this problem is particularly significant in the case of the NDMST variety. In this research, we aimed to test the impact of coating the NDMST mango fruit with different concentrations of Aloe vera (0%, 30%, and 60% (W/V)), and guava leaf extract (0%, 30%, and 60% (W/V)), a mixture of 15% A. vera and 15% guava leaf extract, and a mixture of 30% A. vera and 30% guava leaf extract on the extension of storage life at ambient temperature (30 ± 2)°C and relative humidity (65 ± 2 %). Weight loss, firmness, titratable acidity, total soluble solids, pH value, ascorbic acid, color and sensory evaluation were evaluated in comparison with untreated control. The results showed that coating with A. vera solution (60%) and the mixed solution of A. vera 30% + guava leaf extract 30% delayed colour change, reduced weight loss, ascorbic acid level, and change in firmness, and extended consumer acceptance of shelf life to 8 days compared to 4 days for the control ($P<0.05$). Therefore, application of these coatings is an alternative

¹ภาควิชาเทคโนโลยีและพัฒนากาเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 50330

¹Department of Agricultural Technology and development, Faculty of Agricultural Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Mae Rim District, 50330, Thailand

*Corresponding author, Email: thita_soo@cmru.ac.th

choice for the postharvest handling, storage and export of organically grown fruit such as NDMST mangoes in the future.

Keywords: *Aloe vera*, guava leaf extract, Nam Dok Mai Sri Tong

คำนำ

เนื่องจากปัจจุบันมะม่วงจัดว่าเป็นหนึ่งในไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยที่มีการส่งออกและทำรายได้เข้าประเทศปีละไม่ต่ำกว่า 3,000 ล้านบาท ปริมาณมะม่วงที่ผลิตในประเทศไทยเพื่อการส่งออกผลสดมีอัตราการส่งออกจริงเพียง 33% เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากผลิตผลบางส่วนไม่ได้มาตรฐานและคุณภาพการส่งออกประกอบกับการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสม ซึ่งกระทบต่อคุณภาพของมะม่วงส่งผลให้มะม่วงมีคุณภาพต่ำมีอายุการเก็บรักษาและการวางจำหน่ายในตลาดสั้นลง (Mittra and Baldwin, 1977) สำหรับมะม่วงที่มีการส่งออกอันดับหนึ่งของประเทศไทยคือมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ตลาดต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศจีน ประเทศญี่ปุ่นและประเทศเกาหลีใต้ต้องการมากกว่าพันธุ์อื่น เนื่องจากมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีสีเหลืองสวย มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว และรสชาติหวาน แต่มักพบปัญหาคือ เปลือกบางและไม่ทนต่อการเข้าทำลายของโรคแอนแทรกคโนสที่เกิดจากเชื้อ *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) ส่งผลให้เปลือกและเนื้อของผลเป็นจุดสีดำน้ำตาลและไม่ใช่ที่ยอมรับของผู้บริโภค (Dodd et al., 1977) นอกจากนี้มะม่วงเป็นผลไม้ในเขตร้อน (tropical fruit) ที่สามารถบ่มสุกได้ มีกระบวนการหายใจเป็นแบบ climacteric fruit กระบวนการสุกและนิ่มของผลจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ประกอบกับมะม่วงมีการสร้างและได้รับการกระตุ้นจากแก๊สเอทิลีน ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอย่างรวดเร็ว (Acosta et al., 2000) นอกจากนี้ในหลายประเทศทั่วโลกที่กังวลเกี่ยวกับการใช้สารเคมีกับผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวและสารเคมีอาจจะผลิตสารพิษที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคตลอดจนเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม (Bautista-Banos et al., 2006) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อรักษาคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ระหว่างการขนส่งและการวางจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งการใช้สารเคลือบผิวผลผลิตทางการเกษตรถือว่าเป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้เพื่อยืดอายุการวางจำหน่าย และการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว โดยสารเคลือบผิวจะช่วยชะลอกระบวนการสุก การสูญเสียน้ำหนัก และการเสื่อมสภาพของผลผลิตได้เป็นอย่างดี (Baldwin, 1994) การเคลือบผิวผลไม้จะไปทดแทนแว็กซ์ตามธรรมชาติที่สูญเสียไปจากการล้างทำความสะอาด โดยการเคลือบผิวผลผลิตจะช่วยปิดรอยเปิดตามธรรมชาติ รวมทั้งรอยแผลที่เกิดขึ้นภายหลังการปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว (Baldwin et al., 1977) โดยสารเคลือบผิวช่วยลดอัตราการหายใจและลดการสังเคราะห์เอทิลีนลงด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการเคลือบผิวสามารถจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สทำให้ภายในผลมีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำและคาร์บอนไดออกไซด์สูง ส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์เอทิลีนหยุดชะงัก (दनัยบุญเกียรติ, 2540) นอกจากนี้การเคลือบผิวยังช่วยชะลอการเกิดของโรคหลังการเก็บเกี่ยวและช่วยเพิ่มลักษณะปรากฏที่ดีระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา (Amarante and Banks, 2001) ว่านหางจระเข้เป็นพืชที่นิยมนำมาใช้ในทางการแพทย์มาอย่างยาวนาน โดยพบว่าเนื้อเยื่อส่วนวุ้นใส (mucilage) สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย อาทิเช่น รักษาโรคกระเพาะอาหารอักเสบ โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคไต ตลอดจนช่วยลดคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือด นอกจากนี้ยังช่วยลดอาการบวมและสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี (Eshun and He, 2005) ใบฝรั่งประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยที่สำคัญหลายตัว อาทิเช่น แทนนิน ฟลาโวนอยด์ ที่ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้ร่างกาย และซาโปนินที่เป็นสารต้านจุลินทรีย์ (Chang et al., 2013) ในหลาย ๆ งานวิจัยพบว่าสารสกัดจากใบฝรั่งมีสารโพลี ฟีนอลที่มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และช่วยในการต้านทานการทำงานของเชื้อแบคทีเรียหลายชนิด อาทิเช่น *Staphylococcus* species, *Shigella* species, *Salmonella* species and *Bacillus* species *E. coli* *Clostridium* species (Abdelrahim et al., 2002; Joseph, 2011) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาการใช้สารเคลือบผิวที่ผลิตจากสารสกัดจากพืชและสามารถรับประทานได้ (edible coating) เพื่อรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง และเพื่อยืดอายุการวาง

จำหน่าย ซึ่งจะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถรักษาคุณภาพของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว โดยไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

วิธีการศึกษา

คัดขนาดว่านหางจระเข้ที่มีขนาดโตเต็มที่ที่มีลักษณะสมบูรณ์ และใบฝรั่งที่มีความสมบูรณ์ ขนาดโตเต็มที่สีเขียวเข้ม ไม่มีโรคและแมลงเข้าทำลายใบ นำว่านหางจระเข้ที่ทำความสะอาดเสร็จแล้วปอกเปลือกล้างเมือกที่มีสีเหลืองออก จากนั้นนำว่านมาปั่นให้ละเอียดและเข้ากระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dried technology) ส่วนใบฝรั่งคัตใบที่มีลักษณะสมบูรณ์ ใบโตเต็มที่ ใบไม่มีโรคและแมลงศัตรูพืชเข้าทำลาย นำใบสดมาล้างทำความสะอาดผึ่งให้แห้ง เมื่อแห้งแล้วนำมาปั่นให้ละเอียดและเข้ากระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dried technology) สารเคลือบเตรียมโดยตัวทำละลายน้ำกลั่นตามความเข้มข้นต่าง ๆ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) โดยใช้มะม่วงน้ำดอกไม้จำนวน 5 ซ้ำ ทำการเคลือบสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้และสารสกัดใบฝรั่งตามความเข้มข้นต่อไปนี้

กรรมวิธีที่ 1 สารเคลือบว่านหางจระเข้ 30%

กรรมวิธีที่ 2 สารเคลือบว่านหางจระเข้ 60%

กรรมวิธีที่ 3 สารเคลือบจากสารสกัดใบฝรั่ง 30%

กรรมวิธีที่ 4 สารเคลือบจากสารสกัดใบฝรั่ง 60%

กรรมวิธีที่ 5 สารเคลือบว่านหางจระเข้ 15% + สารสกัดใบฝรั่ง 15%

กรรมวิธีที่ 6 สารเคลือบว่านหางจระเข้ 30% + สารสกัดใบฝรั่ง 30%

กรรมวิธีที่ 7 ไม่เคลือบสารเคลือบผิว (ชุดควบคุม)

วิธีการเคลือบผิวมะม่วง

นำผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมาคัดเลือกเอาผลที่มีขนาดสม่ำเสมอและไม่มีการเข้าทำลายของโรคและแมลงศัตรูพืช ล้างทำความสะอาดผลมะม่วง จากนั้นใช้ผ้าเช็ดทำความสะอาด แล้วนำมาเคลือบผิวโดยจุ่มผลมะม่วงลงในสารละลายประมาณ 5 วินาที แล้วใช้มือที่สวมถุงมือยางลูบสารเคลือบผิวให้เคลือบผลมะม่วงให้ทั่วทั้งผล ผึ่งให้ผิวแห้งที่อุณหภูมิห้อง บรรจุผลมะม่วงลงในกล่องขนาด กว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 20 × 25 × 8 นิ้ว แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30±2)°C ความชื้นสัมพัทธ์ 65±2% เปรียบเทียบกับผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว บันทึกลักษณะปรากฏ ความผิดปกติด้านกลิ่นและรสชาติ และวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งได้แก่

การสูญเสียน้ำหนัก (%)

ชั่งน้ำหนักผลมะม่วงเมื่อวันเริ่มต้นการทดลอง โดยกำหนดมะม่วงจำนวน 5 ผลในแต่ละซ้ำที่แยกจากชุดการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยชั่งน้ำหนักผลมะม่วงซ้ำทุก ๆ 2 วัน แต่ละวิธีการใช้ผลมะม่วงชุดเดิมจนหมดอายุการเก็บรักษา โดยเครื่องชั่งละเอียดแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด} = \frac{\text{น้ำหนักผลก่อนการเก็บรักษา} - \text{น้ำหนักผลหลังการเก็บรักษา}}{\text{น้ำหนักผลก่อนเก็บรักษา}} \times 100$$

การวัดสีผิว (peel colour)

โดยใช้เครื่อง chroma meter รุ่น CR-400 หัววัด CR310 ของบริษัท Minolta โดยวัดสีผิวภายนอกบริเวณขั้วของผลกึ่งกลางของผล และปลายผลมะม่วง จำนวนทั้งหมด 10 จุดค่าที่ได้แสดงเป็น L*, a*, b*, chroma และ hue angle

ความแน่นเนื้อ (fruit firmness)

การวัดความแน่นเนื้อที่ผิวของผลมะม่วง โดยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer) ยี่ห้อ Stable Micro System, UK รุ่น TA.XT Plus ใช้หัว P36 cylinder stainless ค่า test speed 1 mm/s ค่าระยะทางในการกด 7.5 mm รายงานค่าแรงกดสูงสุดในหน่วยนิวตัน (Sirijarriyawat and Charoenrein, 2014)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid; TSS)

สุ่มผลมะม่วงจำนวน 3 ผลในแต่ละซ้ำมาคั้นน้ำแล้วกรองด้วยผ้าขาวบางแล้ววัดด้วยเครื่อง refractometer รุ่น RX-5000 Lapha โดยอ่านค่าจากน้ำมะม่วงคั้นซ้ำ 3 ครั้ง หน่วยเป็น °Brix แล้วหาค่าเฉลี่ย

ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity; TA) ประยุกต์จาก AOAC (1984)

นำน้ำคั้นมะม่วงปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร หยด 1 เปอร์เซ็นต์ ฟีนอล์ฟทาลีนจำนวน 2 หยด แล้วจึงไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนถึงจุดยุติคือสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูคงตัวนานประมาณ 10 วินาที แล้วจึงคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยใช้สูตร

$$\% \text{ TA} = \frac{\text{NaOH(ml)} \times 0.1\text{NaOH(N)} \times 0.07 \times 100}{10 \text{ ml}}$$

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

สุ่มผลมะม่วงจำนวน 3 ผลในแต่ละซ้ำวัดค่าความเป็นกรด-ด่างโดยเครื่องวัด pH Meter ยี่ห้อ Seven Compact™ S220. จำนวน 3 ครั้งหาค่าเฉลี่ย

ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid)

วิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีในน้ำคั้นมะม่วง ด้วยวิธีการไทเทรชันด้วย Indophenol โดยการปิเปตน้ำคั้นมะม่วงมา 10 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดออกซาลิกความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร แล้วกรองด้วยกระดาษ Whatman No.1 ปิเปตสารละลายที่กรองได้มา 10 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปไทเทรตกับสารละลาย 2, 6- ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอลความเข้มข้น 0.04 เปอร์เซ็นต์ จนถึงจุดยุติ ซึ่งสารละลายที่ได้มีสีชมพู คงตัวนานประมาณ 10 วินาที แล้วคำนวณหาปริมาณวิตามินซี โดยใช้ปริมาตร 2, 6- ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ที่ใช้ไทเทรตกับสารละลายวิตามินซีมาตรฐาน โดยคำนวณตามสูตรดังนี้ (Ranganna, 1997)

ปริมาตร indophenol dye a มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับ ascorbic acid เท่ากับ 1 มิลลิกรัม (จาก standard)

ปริมาตร indophenol dye b มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับ ascorbic acid เท่ากับ $(1 \times b)/a$ มิลลิกรัม (จากสารละลายตัวอย่าง) เท่ากับ c มิลลิกรัม

สารละลายน้ำมะม่วงเจือจาง 10 มิลลิลิตร มีปริมาณ ascorbic acid เท่ากับ c มิลลิกรัม

สารละลายน้ำมะม่วง 100 มิลลิลิตร มีปริมาณ ascorbic acid เท่ากับ $(c \times 100)/10$ มิลลิกรัม เท่ากับ d มิลลิกรัม

น้ำมะม่วงคั้น 10 มิลลิลิตร มีปริมาณ ascorbic acid เท่ากับ d มิลลิกรัม

น้ำมะม่วงคั้น 100 มิลลิลิตร มีปริมาณ ascorbic acid เท่ากับ $(d \times 100)/10$ มิลลิกรัม เท่ากับ e มิลลิกรัม/ 100 มิลลิลิตรน้ำมะม่วงคั้น

การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

การประเมินด้านกลิ่นและรสชาติผิดปกติ กำหนดคะแนนดังนี้

5 = ไม่มีรสชาติผิดปกติและไม่เหม็นหืน

4 = มีรสชาติผิดปกติและกลิ่นเหม็นเล็กน้อย

3 = มีรสชาติติดปกติและกลิ่นหมักปานกลาง

2 = มีรสชาติติดปกติและกลิ่นหมักรุนแรง

1 = มีรสชาติติดปกติและกลิ่นหมักรุนแรงมาก

การประเมินด้านลักษณะปรากฏภายนอก กำหนดคะแนนดังนี้

5 = ผลมีลักษณะปกติไม่มีตำหนิ

4 = ผลเริ่มเหี่ยวเล็กน้อยและมีจุดสีน้ำตาลเล็กน้อย

3 = ผลเริ่มเหี่ยวปานกลางและมีจุดสีน้ำตาลปานกลาง

2 = ผลเริ่มเหี่ยวมากและมีจุดสีน้ำตาลมาก

1 = ผลเริ่มเหี่ยวทั่วทั้งผลและมีจุดสีน้ำตาลกระจายทั่วผล

โดยกำหนดให้ผลมะม่วงที่มีคะแนนการประเมินด้านกลิ่นและรสชาติติดปกติที่มีค่าต่ำกว่า 3 คะแนน และ/หรือมีคะแนนการประเมินด้านลักษณะปรากฏภายนอกต่ำกว่า 3 คะแนน คือผลมะม่วงที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ประเมินนั้นคือผลมะม่วงหมดอายุการวางจำหน่าย ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ผู้ประเมินทั้งสิ้น 10 คน โดยผู้ประเมินคือผู้ที่นิยมบริโภคมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

นำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการวัดสีผิวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองและองค์ประกอบของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้และสารสกัดจากใบฝรั่งที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน จาก Table 1 โดยพบว่ามะม่วงที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวมีอัตราการเสื่อมสลายมากที่สุด โดยมีค่าการเปลี่ยนสีเหลือง (L^* = 71.63, a^* = 10.28 และ b^* = 40.76) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าผลมะม่วงที่เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงที่ระยะเวลาสั้นขึ้น โดยพบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผลมะม่วงในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลงคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เช่นเดียวกับค่า hue angle ของสีผิวมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่มีแนวโน้มลดลงตลอดการเก็บรักษา และในทุกกรรมวิธีของผลมะม่วงที่เคลือบผิวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับผลมะม่วงที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว (Table 1) โดยค่าความต่างของสีเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้น (10 วัน) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาผลมะม่วงค่า L^* , a^* , b^* และ hue angle ของสีผิวผลมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้และสารสกัดจากใบฝรั่งที่ความเข้มข้นต่าง ๆ สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลมะม่วงได้มากกว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว ทั้งนี้เนื่องจากสารเคลือบผิวจะช่วยชะลอการแลกเปลี่ยนแก๊ส และการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีภายในผลผลิตให้เกิดช้าลง ช่วยลดอัตราการสังเคราะห์แก๊สเอทิลินที่เป็นสาเหตุให้ผลมะม่วงเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองได้ดีกว่าผลผลิตที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว (Pornchan et al., 2016) ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (Table 1) พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้น (10 วัน) ความแน่นเนื้อของมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิวมีความแน่นเนื้อของผลน้อยที่สุด (2.08 N) และผันแปรกับค่าการสูญเสียน้ำหนักของผลมะม่วง (17.48%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้และสารสกัดจากใบฝรั่งในทุกกรรมวิธี โดยพบว่ามะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ 60% มีความแน่นเนื้อของผลดีที่สุด (4.66 N) และมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่ำที่สุด (10.67%) (Table 1) การศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของผลลิ้นจี่ที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวไคโตซานและว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าสารเคลือบผิวสามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักของผลลิ้นจี่ได้ดีกว่าผลลิ้นจี่ที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่ออายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น (Liu et al.,

2011) เช่นเดียวกับการทดลองของ Chien et al. (2007) ที่พบว่าสารเคลือบผิวสามารถชะลออัตราการสูญเสียน้ำหนัก การเสื่อมสลายของผลผลิต การเปลี่ยนสีผิวของผล และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงหั่นขึ้นให้ได้นานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนักวิจัยหลายท่านที่พบว่าสารเคลือบผิวจากว่านหางจระเข้สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและสามารถช่วยรักษาคุณภาพของผลไม้ได้หลายชนิด อาทิเช่น ราชเบอร์รี่ (Hassanpour, 2015) บลูเบอร์รี่ (Vieira et al., 2016) มะละกอ (Mendy et al., 2019) ส้ม (Rasouli et al., 2019) และมะม่วงพันธุ์ Ngowe (Ochiki et al., 2015) เป็นต้น นอกจากนี้ Ghulam et al. (2019) ได้ทดลองใช้ว่านหางจระเข้เคลือบผลกล้วยพันธุ์ Basarai และพบว่าผลกล้วยที่เคลือบด้วยว่านหางจระเข้สามารถชะลอการเกิดโรคและความรุนแรงของแอนแทรคโนสในผลกล้วยที่เคลือบผิวมากกว่าผลกล้วยที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว ซึ่งส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาให้ได้นานขึ้นกว่าปกติ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี (Table 2) พบว่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวมีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น (10 วัน) ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลมะม่วงทั้งที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิวมีแนวโน้มลดลง โดยปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิวมีปริมาณต่ำที่สุด (0.92%) และมะม่วงที่เคลือบผิวผลด้วยว่านหางจระเข้ 60% มีปริมาณกรดมากที่สุด (1.3%) การที่ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ในทุกกรรมวิธีลดลงอาจเพราะกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ หรือกรดถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลเพื่อเป็นอาหารสะสม หรือเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาต่าง ๆ ในผลผลิต (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยสารเคลือบผิวด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในผลมะม่วงและไม่เคลือบผล พบว่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ลดลงในทุกความเข้มข้น ทั้งนี้พบว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวจะมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ต่ำที่สุด เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น (Pornchan et al., 2016) จากการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลมะม่วงที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิว พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น (Table 2) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการผลึกษาการเคลือบผิวผล melon พันธุ์ Galia ด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่าง ๆ (Tag, Zivdar, Tag-A และ Beeswax) เป็นเวลา 14 วัน พบว่าผล melon ที่เคลือบผิวผลในทุกชนิดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (Fallik et al., 2005) ค่า pH ของมะม่วงที่เคลือบและไม่เคลือบผิวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยว่านหางจระเข้ 60% (5.93%) มีการเปลี่ยนแปลงค่า pH เพิ่มขึ้นน้อยกว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิวเมื่อเก็บรักษาในระยะเวลาที่นานขึ้น (10 วัน) (Table 2) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาสารเคลือบผิวผลไม้ (กล้วย มะเฟือง และมะเขือเทศ) ด้วยไคโตซานและสารสกัดใบฝรั่ง ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าค่า pH ของผลไม้ที่ไม่ได้เคลือบผิวผลมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า pH มากกว่าค่า pH ในผลไม้ที่เคลือบผิวโดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นต่ำ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 12 วัน (Islam et al., 2018) ทั้งนี้เนื่องจากพืชยังมีกระบวนการหายใจที่เกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยวส่งผลให้มีการใช้กรดอินทรีย์ต่าง ๆ ในปฏิกิริยาการหายใจส่งผลให้ปริมาณกรดอินทรีย์ลดลง (Coseteng and lee, 1978) เมื่อพิจารณาปริมาณวิตามินซีตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา (Table 2) พบว่าปริมาณวิตามินซีของผลมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทุกชนิดมีค่าลดลงต่ำ โดยกรรมวิธีที่เคลือบผิวผลด้วยว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้น 30% และ 60% มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของวิตามินซีต่ำที่สุด (9.66 และ 9.59 mg/100 ml ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว (6.23 mg/100 ml) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น (10 วัน) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Hamid (2014) ที่รายงานว่าผลราชเบอร์รี่ที่เคลือบผิวผลด้วยสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้มีอัตราการลดลงของปริมาณวิตามินซีน้อยกว่าผลราชเบอร์รี่ที่ไม่ได้เคลือบผิว ทั้งนี้เนื่องจากสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ช่วยควบคุมการแลกเปลี่ยนและการผ่านเข้าออกของแก๊สภายในผลราชเบอร์รี่ ส่งผลให้อัตราการหายใจของราชเบอร์รี่ลดลง รวมถึงการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ลดลงด้วย การประเมินด้านกลิ่นและรสชาติ

ผิดปกติและลักษณะปรากฏภายนอกของผลมะม่วงที่เคลือบผิวและไม่ได้เคลือบผิว (Table 2) จากผลคะแนนการประเมินด้านกลิ่นและรสชาติผิดปกติของมะม่วง พบว่าลักษณะปรากฏของผลมะม่วงที่เคลือบผิวในทุกกรรมวิธีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว ($P < 0.05$) โดยผลมะม่วงในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มคะแนนผลการประเมินลักษณะปรากฏภายนอกลดลง แต่ผลมะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ 60% และสารเคลือบผิวผสมสารสกัดใบฝรั่ง (30% + 30%) ได้รับคะแนนผลการประเมินด้านกลิ่นและรสชาติผิดปกติน้อยกว่าคะแนนผลการประเมินด้านกลิ่นและรสชาติผิดปกติของผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิวเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน (6 8 และ 10 วัน) ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การเคลือบผิวผลมะม่วงด้วยสารเคลือบผิวมีผลให้การแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างผลผลิตกับบรรยากาศภายนอกเกิดได้น้อยลง โดยความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในผลน้อยลงและความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น หากแต่ใช้ในปริมาณที่ไม่เหมาะสม การเคลือบผิวสามารถชักนำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ และส่งผลให้เกิดการสะสมสารประกอบพวกเอซีตัลดีไฮด์ และเอทานอล ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติได้ ทั้งนี้การแลกเปลี่ยนแก๊สจะเกิดขึ้นได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคลือบผิวที่ต่างกันออกไป โดยขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสารเคลือบผิวและความเข้มข้นของสารเคลือบผิวแต่ละชนิด (Hagenmaier, 2002; Petrcek et al., 1998)

Table 1 Effect of Aloe vera gel and Guava leaf extract coating on L value, a^* , b^* , hue angle, firmness and weight loss (%) of mangos cv. Nam Dok Mai Sri Tong during storage at room temperature (30 ± 2 °C), RH (65 ± 2 %) for 10 days.

Storage time (day)	Treatment	L value	a^*	b^*	Hue angle	Fruit firmness (N)	Weight loss (%)
0	30 % Aloe	71.44 a	4.80 a	38.45 a	80.23 a	4.15 a	-
	60 % Aloe	71.44 a	4.80 a	38.45 a	80.23 a	4.15 a	-
	30 % Guava leaf (GL)	71.44 a	4.80 a	38.45 a	80.23 a	4.15 a	-
	60 % Guava leaf (GL)	71.44 a	4.80 a	38.45 a	80.23 a	4.15 a	-
	15% Aloe + 15% GL	71.44 a	4.80 a	38.45 a	80.23 a	4.15 a	-
	30 % Aloe + 30% GL	71.44 a	4.80 a	38.45 a	80.23 a	4.15 a	-
	Control	71.44 a	4.80 a	38.45 a	80.23 a	4.15 a	-
2	30 % Aloe	72.15 bc	5.55 d	38.32 cd	81.97 c	5.29 ab	4.59 b
	60 % Aloe	74.00 ac	5.12 de	39.74 d	82.39 bc	5.96 a	4.34 b
	30 % Guava leaf (GL)	76.73 a	4.59 de	44.29 cd	84.37 a	4.52 bc	5.61 a
	60 % Guava leaf (GL)	72.20 bc	7.88 b	43.43 a	79.92 d	4.55 bc	5.65 a
	15% Aloe + 15% GL	74.86 ab	6.80 c	38.64 ab	81.07 cd	3.81 c	5.15 a
	30 % Aloe + 30% GL	70.61 c	4.31 e	41.22 cd	83.66 ab	5.26 ab	4.46 b
	Control	70.66 c	9.08 a	77.11 bc	77.89 e	6.13 a	5.61 a
4	30 % Aloe	70.75 a	9.41 a	78.19 c	77.11 c	5.48 ab	5.92 de
	60 % Aloe	71.26 a	8.58 ab	78.24 bc	78.19 bc	5.91 a	5.37 e
	30 % Guava leaf (GL)	69.94 a	6.63 c	78.24 bc	78.24 bc	4.14 de	6.8 bc
	60 % Guava leaf (GL)	71.48 a	5.24 d	82.56 a	82.56 a	4.40 cde	7.2 b
	15% Aloe + 15% GL	73.40 a	5.68 d	81.80 a	81.80 a	4.98 bc	7.38 b
	30 % Aloe + 30% GL	70.07 a	7.11 c	79.26 b	79.26 b	4.72 cd	6.26 cd
	Control	69.88 a	8.05 b	78.55 bc	78.55 bc	3.99 e	8.70 a
6	30 % Aloe	71.03 c	9.39 a	38.55 b	76.32 e	3.18 c	9.54 d
	60 % Aloe	71.48 bc	9.45 a	40.58 ab	76.99 de	4.94 a	9.31 d
	30 % Guava leaf (GL)	71.55 abc	8.49 b	39.77 ab	78.23 c	4.22 b	9.19 d
	60 % Guava leaf (GL)	72.33 a	6.63 c	41.55 a	80.77 a	3.08 c	10.48 c
	15% Aloe + 15% GL	72.33 abc	6.84 c	38.37 b	79.81 b	4.40 ab	9.80 d
	30 % Aloe + 30% GL	72.89 ab	8.49 b	39.56 ab	77.84 cd	3.98 b	8.43 e
	Control	72.70 abc	8.31 b	38.56 b	77.81 cd	4.04 b	12.68 a
8	30 % Aloe	69.55 ab	10.03 b	39.36 b	75.87 d	2.82 d	11.30 b
	60 % Aloe	67.83 b	10.92 a	41.93 ab	77.15 bc	5.96 a	11.16 b

10	30 % Guava leaf (GL)	69.59 ab	9.77 b	41.42 ab	78.40 a	4.02 b	11.40 b
	60 % Guava leaf (GL)	71.15 a	7.67 c	42.62 a	75.90 d	3.51 bcd	10.71 b
	15% Aloe + 15% GL	71.73 a	7.72 c	40.86 ab	76.29 cd	3.23 cd	10.76 b
	30 % Aloe + 30% GL	70.09 ab	9.21 b	38.86 c	78.42 a	3.83 bc	8.96 c
	Control	71.11 a	9.54 b	40.20 ab	77.36 b	4.22 b	14.87 a
	30 % Aloe	68.10 a	11.67 a	38.55 a	73.83 a	3.46 b	12.65 b
	60 % Aloe	68.96 a	10.08 ab	40.73 a	76.28 a	4.66 a	10.67 d
	30 % Guava leaf (GL)	67.50 a	9.08 bc	39.15 a	77.04 a	3.43 b	12.23 bc
	60 % Guava leaf (GL)	72.47 a	9.40 bc	44.24 a	77.89 a	3.62 b	11.58 c
	15% Aloe + 15% GL	69.43 a	8.22 c	40.11 a	78.40 a	2.77 c	10.56 c
	30 % Aloe + 30% GL	57.53 b	6.62 d	25.60 b	78.22 a	3.12 bc	10.67 d
	Control	71.63 a	10.28 ab	40.76 a	77.86 a	2.08 d	17.48 a

^aValues followed by the same letter in the column on the same day were not significantly different according to Duncan's Multiple Range Test ($P < 0.05$).

Table 2 Effect of *Aloe vera* gel and Guava leaf extract coating on TA (%), TSS, ascorbic acid and sensory evaluation of mangos cv. Nam Dok Mai Sri Tong during storage at room temperature (30 ± 2 °C), RH (65 ± 2 %) for 10 days.

Storage time (day)	Treatment	TA (%)	TSS (°Brix)	pH	Ascorbic acid (mg/100ml)	Sensory evaluation
0	30 % Aloe gel	1.10 a	9.87 a	3.89 a	11.68 a	5.00 a
	60 % Aloe gel	1.10 a	9.87 a	3.89 a	11.68 a	5.00 a
	30 % Guava leaf (GL)	1.10 a	9.87 a	3.89 a	11.68 a	5.00 a
	60 % Guava leaf (GL)	1.10 a	9.87 a	3.89 a	11.68 a	5.00 a
	15% Aloe + 15% GL	1.10 a	9.87 a	3.89 a	11.68 a	5.00 a
	30 % Aloe + 30% GL	1.10 a	9.87 a	3.89 a	11.68 a	5.00 a
	Control	1.10 a	9.87 a	3.89 a	11.68 a	5.00a
2	30 % Aloe gel	0.96 a	16.48 bc	4.81 a	10.84 bc	5.00 a
	60 % Aloe gel	0.88 a	14.90 d	4.85 a	11.02 abc	5.00 a
	30 % Guava leaf (GL)	1.10 a	17.56 a	3.66 b	10.34 bc	5.00 a
	60 % Guava leaf (GL)	2.62 a	16.16 c	4.51 a	11.70 ab	5.00 a
	15% Aloe + 15% GL	0.88 a	16.44 bc	4.42 a	12.94 a	5.00 a
	30 % Aloe + 30% GL	1.14 a	16.50 b	4.52 a	9.72 c	5.00 a
	Control	1.38 a	14.66 d	4.28 a	11.90 ab	4.50 b
4	30 % Aloe gel	1.16 bc	15.48 a	5.55 ab	10.84 bc	4.00 ab
	60 % Aloe gel	1.28 bc	15.14 a	5.33 ab	11.02 abc	4.20 a
	30 % Guava leaf (GL)	1.50 ab	15.90 a	4.94 b	10.34 bc	3.50 cd
	60 % Guava leaf (GL)	1.12 c	15.42 a	4.90 b	11.70 ab	3.20 d
	15% Aloe + 15% GL	1.08 c	15.34 a	6.17 a	12.94 a	3.30 cd
	30 % Aloe + 30% GL	1.36 bc	15.60 a	4.90 b	9.72 c	3.70 bc
	Control	1.78 a	15.90 a	4.95 b	11.90 ab	2.50 e
6	30 % Aloe gel	1.20 b	13.34 a	5.17 a	10.88 bc	3.10 ab
	60 % Aloe gel	1.32 b	15.66 a	5.34 a	11.96 abc	3.10 ab
	30 % Guava leaf (GL)	1.30 b	15.70 a	5.67 a	11.30 bc	3.05 b
	60 % Guava leaf (GL)	1.34 b	14.80 a	5.18 a	13.11 ab	2.70 c
	15% Aloe + 15% GL	1.18 b	15.12 a	5.39 a	14.10 a	3.15 ab
	30 % Aloe + 30% GL	1.06 b	13.46 a	5.05 a	10.16 c	3.45 a
	Control	1.74 a	15.24 a	5.46 a	10.70 bc	2.50 c
8	30 % Aloe gel	1.04 a	16.02 a	5.70 ab	8.00 b	3.00 a
	60 % Aloe gel	1.30 a	14.90 a	5.58 ab	9.44 ab	3.00 a
	30 % Guava leaf (GL)	1.30 a	15.34 a	5.72 ab	8.50 ab	3.00 a
	60 % Guava leaf (GL)	1.08 a	15.14 a	5.79 a	8.70 ab	2.60 b
	15% Aloe + 15% GL	1.20 a	14.28 a	5.87 a	9.60 ab	3.00 a
	30 % Aloe + 30% GL	1.18 a	14.64 a	5.62 ab	10.24 a	3.00 a
	Control	1.24 a	14.14 a	5.38 b	10.10 a	1.20 c
10	30 % Aloe gel	0.97 b	14.96 a	5.89 ab	9.66 a	2.40 a

60 % Aloe gel	1.3 a	15.70 a	5.93 a	9.59 a	2.50 a
30 % Guava leaf (GL)	1.24 ab	14.50 a	5.76 ab	7.91 b	2.20 a
60 % Guava leaf (GL)	1.08 b	14.52 a	5.83 ab	7.63 c	2.50 a
15% Aloe + 15% GL	1.06 b	15.76 a	5.58 ab	7.54 c	2.20 a
30 % Aloe + 30% GL	1.05 b	13.84 a	5.50 b	6.52 d	2.60 a
Control	0.92 b	15.04 a	5.82 ab	6.23 e	1.00 b

^a Values followed by the same letter in the column on the same day were not significantly different according to Duncan's Multiple Range Test (P<0.05).

สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาลักษณะของสารเคลือบว่านหางจระเข้และสารสกัดใบฝรั่งต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง พบว่ามะม่วงที่เคลือบด้วยสารเคลือบว่านหางจระเข้ที่ 60% และ 30% ว่านหางจระเข้ + 30% สารสกัดใบฝรั่ง ช่วยลดกระบวนการเสื่อมสลายของผลผลิต ซึ่งได้แก่ปริมาณการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงของวิตามินซี การเปลี่ยนแปลงของสีผิว และความแน่นเนื้อได้ดีกว่ามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ไม่ได้เคลือบผิว และมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบว่านหางจระเข้และสารสกัดใบฝรั่งที่ความเข้มข้นอื่น ๆ ดังนั้นการเคลือบผิวผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองด้วยว่านหางจระเข้ร่วมกับสารสกัดใบฝรั่งที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมอาจเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับเกษตรกรเพื่อใช้ในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะม่วงอินทรีย์หรือผลผลิตทางการเกษตรอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการใช้สารเคมีเพื่อรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว ตลอดจนสามารถยืดอายุการเก็บรักษาและการวางจำหน่ายของผลมะม่วงในตลาดและการส่งออกในอนาคตได้ โดยว่านหางจระเข้และใบฝรั่งเป็นพืชในท้องถิ่นที่เกษตรกรสามารถพบได้ทั่วไป

เอกสารอ้างอิง

- दनय नुनय गेयरद. 2540. *สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน*. เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- จรงแท ศิริพานิช. 2549. *ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายเป็นพืช (Postharvest Biology and Plant Senescence)*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร วิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม.
- Abdelrahim, S. I., Almagboul, A. Z., Omer, M. E. A. and Elegami, A. 2002. Antimicrobial activity of *Psidium guajava* L. *Fitoterapia* 73(7): 713-715.
- Acosta, R. M., Neito, A. D., Mena, N. G. V., Vaquera, H. H., Teliz, O. D., Nieto, A. R. 2000. Effect of post-harvest temperature on the development of internal darkening in mango fruit (*Mangifera indica* L.) cv. Haden and their quality. *Acta Horticulture* 509: 401-412.
- Amarante, C., and Bank, N. H. 2001. Postharvest physiology and quality of coated fruits and vegetables. *Horticultural Reviews* 26: 161-238.
- AOAC. 1984. *Methods of Analysis*. 14th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Baldwin, E. A. 1994. Edible coating for fresh fruits and vegetables: past present, and future. In *Edible coatings and films to improve food quality*, Krochta, J. M., Baldwin, E. A., and Nisperos-Carriedo, M. O. ed. pp. 25-64. Lancaster, Basel: Technomic Publishing Inc.
- Baldwin, E. A., Nisperos, M. O., Hagenmaier, R. H., and Baker, R. A. 1997. Use of lipids inedible coatings for food products. *Food Technology* 51: 56-62.
- Bautista-Banos, S., Hernandez-Lauzardo, A. N., Velazquez-del Valle, M. G., Hernandez-Lopez, M., Barka, E. A., Bosquez-Molina, E. and Wilson, C. L. 2006. Chitosan as a potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticulture commodities. *Crop Protection* 25: 108-118.
- Chang, W. S., AfsahHejri, L., Rukayadi, Y., Khatib, A., Lye, Y. L., Loo, Y. Y. and Tang, J. Y. H. 2013. Quantification of *Escherichia coli* O157: H7 in organic vegetables and chickens. *International Food Research Journal* 20(2): 1023-1029.
- Chien, P. J., Sheu, F., and Lin, H. R. 2007. Coating citrus (*Murcott tangor*) fruit with low molecular weight chitosan increase postharvest

- quality and shelf life. *Food Chemistry* 100: 1120-1164.
- Coseteng, M. Y. and Lee, C. Y. 1978. Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentrations in relation to degree of browning. *Journal of Food and Science* 52(4): 985-989.
- Dodd, J. C., Prusky, D., and Jeffries, P. 1977. Fruit diseases. In *The mango: Botany, production and uses*, Litz, R. E., ed. pp.257-280. UK: CAB International.
- Eshun, K., and He, Q. 2005. *Aloe vera*: a valuable ingredient for the food, pharmaceutical and cosmetic industries: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44: 91-96.
- Fallik, E., Yavin, S., Shalom A., Olga, L., Esther, B. and Uzi, R. 2005. External, internal and sensory traits in Galia-type melon treated with different waxes. *Postharvest Biology and Technology* 36: 69-75.
- Ghulam, K., Hafiz, T. A., Intazarr, A. and Muhammad, W. 2019. *Aloe vera* gel enriched with garlic essential oil effectively controls anthracnose and maintains postharvest quality of banana fruit during storage. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 60: 659-669.
- Hassanpour, H. 2015. Effect of *Aloe vera* gel coating on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activities and decay in raspberry fruit. *LWT-Food Science Technology* 83: 54-57.
- Hagenmaier, R. D. 2002. The flavor of mandarin hybrids with different coatings. *Postharvest Biology and Technology* 24: 79-87.
- Islam, T., Afrin, N., Parvin, S., Dana, N. H., Rahman, K. S., Zaman, W. and Islam, M. N. 2018. The impact of chitosan and guava leaf extract as preservative to extend the shelf-life of fruits. *International Food Research Journal* 25(5): 2056-2062.
- Joseph, B. and Priya, M. 2011. Review on nutritional, medicinal and pharmacological properties of guava (*Psidium guajava* Linn.). *International Journal of Pharma and Bio Science* 2(1): 53-69.
- Liu, H., Song, L., You, Y., Li, Y., Duan, X., Jiang, Y., Lu, W. 2011. Cold storage duration affects litchi fruit quality, membrane permeability, enzyme activities and energy charge during shelf time at ambient temperature. *Postharvest Biology Technology* 60: 24-30.
- Mendy, T. K., Misran, A., Mahmud, T. M. M., Ismail, S. I. 2019. Application of *Aloe vera* coating delays ripening and extend the shelf life of papaya fruit. *Scientia Horticulturae* 246: 769-776.
- Mitra, S. K., and Baldwin, E. A. 1977. Mango. In *Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits*, Mitra, S. K. ed. pp. 85-122. New York: CAB International.
- Ochiki, S., Gesimba, M. R., and Wolukau, J. N. 2015. Effect of *Aloe vera* gel coating on postharvest quality and shelf life of mango (*Mangifera indica* L.) fruits Var. 'Ngowe'. *Journal of Horticulture and Forestry* 7(1): 1-7.
- Petracek, P. D., Dou, H. and Pao, S. 1998. The influence of applied waxes on postharvest physiological behavior and pitting of grapefruit. *Postharvest Biology and Technology* 14: 99-1006.
- Pornchan, J., Teerada, W., Pranee, R., and Kanogwan, S. 2016. Effect of molecular weights of chitosan coating on postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruit. *Food Science and Technology* 73: 28-36.
- Ranganna, S. 1997. *Manual of Analysis of Fruit and Vegetables Products*. New Delhi: Tats McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- Rasouli, M., Saba, M. K. and Ramezani, A. 2019. Inhibitory effect of salicylic acid and *Aloe vera* gel edible coating on microbial load and chilling injury of orange fruit. *Scientia Horticulturae* 247: 27-34.
- Sirijariyawat, A. and Charoenrein, S. 2014. Texture and pectin content of four frozen fruits treated with calcium. *Journal of Food Process.* 38: 1346-1355.
- Vieira, J. M., Flores-López, M. L., de Rodríguez, D. J., Sousa, M. C., Vicente, A. A. and Martins, J. T., 2016. Effect of chitosan-*Aloe vera* coating on postharvest quality of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) fruit. *Postharvest Biology Technology* 116: 88-97.

วันรับบทความ (Received date) : 9 ก.พ. 64

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 21 ธ.ค. 64

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 29 เม.ย. 65

อิทธิพลของข้อมูลสภาพอากาศและนโยบายต่อการตัดสินใจปลูกพืชทางเลือก และช่องทางการรับรู้ข้อมูลของเกษตรกร ในพื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง จังหวัดอุทัยธานี

The Effects of Climate and Policy Information on Farmers' Alternative Cropping Decisions and Information Receiving Channels in High Risk of Drought Area, Uthai Thani Province

นิติภา วรพันธุ์ตระกูล¹ ชัชวาลย์ เผ่าเพ็ง^{1*} และสายรัก ไชยลังกา¹

Nitipa Worrapantrakul¹, Chatchawarn Paopeng^{1*} and Sairak Chailanggar¹

บทคัดย่อ

การปลูกพืชทางเลือกที่ใช้น้ำน้อยทดแทนข้าวนาปรัง เป็นมาตรการหนึ่งในการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตรในฤดูแล้ง แต่ยังคงพบว่าการปลูกข้าวนาปรังเกินแผนที่กำหนด เพื่อทำความเข้าใจพฤติกรรมและการตัดสินใจของเกษตรกรในการปรับปรุงนโยบายเพื่อสนับสนุนการปรับตัวของเกษตรกร การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการตัดสินใจปลูกพืชทางเลือกของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวนาปรังเมื่อได้รับข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศและนโยบายยกเลิกการเยียวยาภัยแล้งข้าวนาปรัง โดยใช้การทดลองในสนามที่ประดิษฐ์ขึ้น (artefactual field experiment) ด้วยการเล่นเกม วิเคราะห์ผลกระทบต่อการตัดสินใจของเกษตรกร ด้วย Mann Whitney U test และสมการถดถอย และสำรวจช่องทางการรับรู้ข้อมูลของเกษตรกร โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยสถิติพรรณนา จากกลุ่มตัวอย่าง 79 ราย ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงจากภัยแล้ง ในอำเภอทัพทัน จังหวัดอุทัยธานี ซึ่งเก็บข้อมูลในเดือนมีนาคม 2564 ผลการศึกษาพบว่า ข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกปลูกพืชทางเลือกของเกษตรกร ขณะที่การได้รับเพียงข้อมูลนโยบายยกเลิกการเยียวยาภัยแล้งข้าวนาปรังไม่พบอิทธิพลต่อการตัดสินใจ สำหรับช่องทางการรับรู้ข้อมูลสภาพอากาศมากที่สุดคือโทรทัศน์และแอปพลิเคชันไลน์ (Line) ส่วนข้อมูลนโยบายเกษตร เกษตรกรส่วนใหญ่รับรู้จากเจ้าหน้าที่เกษตร ผลการศึกษาชี้ว่า ควรให้ข้อมูลพยากรณ์อากาศที่มีความจำเพาะในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดภัยแล้ง โดยสื่อสารผ่านช่องทางที่เกษตรกรติดตามได้สะดวก เช่น โทรทัศน์และแอปพลิเคชันของโทรศัพท์เคลื่อนที่ นอกจากนี้ เจ้าหน้าที่เกษตรมีความสำคัญมากในการสื่อสารนโยบายเกษตร

คำสำคัญ: การตัดสินใจปลูกพืช ข้อมูลสภาพอากาศ นโยบายเกษตร

Abstract

In the dry season, government measures that were introduced to farmers for water management involved planting alternative crops that required less water instead of off-season rice. However, it was found that the area of planting of off-season rice still exceeded the government's expectations. A better understanding of farmer decision-making was required in order to shape policies for supporting farmer adoption of alternate crops. Therefore, in this study, we aimed to investigate farmer decision making with regard to the planting of alternative crops when climate forecast information was available, and how farmers perceived government policy on drought relief measures. We performed an artefactual field experiment with game playing and analyzed farmer decision-making behavior using the Mann Whitney U test and a regression model. In addition, a survey of farmer information receiving channels was presented and analyzed using descriptive techniques. Data was collected in March 2021, from 79 farmers in Thapthan District, Uthai Thani Province, which was considered to be an area at high risk of drought. The results showed that climate forecast information influenced farmer decisions to do with planting alternative crops, and that policy information alone did not influence farmer decisions. Moreover, the evidence suggested that most farmers received climate information from television and the Line application, and received agricultural policy information from agricultural officers. The findings strongly suggest that climate forecast information should be provided to farmers in high-risk areas through channels that the farmers can easily access (e.g., television and Line). Furthermore, agricultural officers have a crucial role to play in communicating agricultural policy.

¹สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

¹Bureau of Agricultural Economics Research, Office of Agricultural Economics, Chatuchak, Bangkok 10900

*Corresponding author, Email: Chatchawarn.pao@oae.go.th

Keywords: decision-making for planting, climate information, agricultural policy

คำนำ

ภัยแล้งและการขาดแคลนน้ำเป็นปัญหาสำคัญในภาคเกษตร ทั้งที่เกิดตามฤดูกาลและจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การส่งเสริมการปลูกพืชใช้น้ำน้อยเป็นมาตรการหนึ่งของภาครัฐเพื่อบริหารจัดการพื้นที่เพาะปลูกพืชในฤดูแล้งให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำ อย่างไรก็ตาม พบว่าเกษตรกรยังคงเพาะปลูกข้าวนาปรังเกินแผนที่กำหนดทั้งในระดับประเทศและในลุ่มน้ำเจ้าพระยาเกือบทุกปี เนื่องจากไม่สามารถควบคุมการเพาะปลูกข้าวนาปรังของเกษตรกรได้ (ทวีศักดิ์ ธนเดโชพล และคณะ, 2563)

การทำความเข้าใจพฤติกรรมการตัดสินใจเลือกปลูกพืชของเกษตรกรจะช่วยให้การออกแบบนโยบายสนับสนุนการปรับตัว นอกจากนี้ปัจจัยด้านเศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกร การศึกษาที่ผ่านมาได้ชี้ถึงความสำคัญของข้อมูลสภาพอากาศกับการปรับตัวของเกษตรกร โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศที่แม่นยำและทันเวลาที่จะช่วยในการวางแผนการผลิตของเกษตรกร (Mongkolsri, 2016; Ndamani and Watanabe, 2016; Belay et al., 2017)

นโยบายของภาครัฐสามารถสร้างแรงจูงใจในการปรับตัวของเกษตรกร ขณะเดียวกันนโยบายช่วยเหลือเกษตรกรก็อาจลดแรงจูงใจในการปรับตัวของเกษตรกรโดยไม่ตั้งใจได้เช่นกัน โดยเฉพาะนโยบายที่เน้นหวังผลระยะสั้น (Attavanich et al., 2019) ในการจัดการความเสี่ยงจากภัยพิบัติของเกษตรกรผู้ปลูกข้าว ส่วนใหญ่ภาครัฐจะมุ่งให้ความช่วยเหลือไปที่การปลูกข้าวนาปี ทั้งโครงการประกันภัยข้าวนาปีและโครงการเยียวยาความเสียหายจากภัยพิบัติ (นณริฏ พิศลยบุตร, 2563) ขณะที่ข้าวนาปรังจะมีเพียงการเยียวยาความเสียหายจากภัยพิบัติ ตามหลักเกณฑ์วิธีปฏิบัติปลีกย่อยเกี่ยวกับการให้ความช่วยเหลือด้านการเกษตรผู้ประสบภัยพิบัติกรณีฉุกเฉินของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ทั้งนี้ การกำหนดแนวทางการช่วยเหลือ หากอัตราการเยียวยาสูงเกินไปอาจทำให้ลดแรงจูงใจในการปรับตัวได้ ในที่นี้จึงพิจารณาการเยียวยาดังกล่าวเพื่อศึกษาการตัดสินใจของเกษตรกร

ในการวางแผนการผลิตของเกษตรกร ข้อมูลมีความสำคัญต่อการตัดสินใจ ทั้งข้อมูลสภาพอากาศและนโยบายของภาครัฐ อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมในการหาข้อมูลของเกษตรกรจะขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งานข้อมูลแต่ละประเภท ซึ่งเป็นผลมาจากการรับรู้ถึงความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ของเกษตรกร อีกทั้งการหาข้อมูลของเกษตรกรยังขึ้นอยู่กับลักษณะของแหล่งข้อมูล/ช่องทางอีกด้วย นอกจากนี้ปัจจัยแทรกแซงอื่น เช่น คุณลักษณะและบุคลิกของเกษตรกร และสังคม ยังส่งผลต่อความต้องการและพฤติกรรมการหาข้อมูลด้วย (Mahindarathe and Min, 2018) จากการศึกษาของ Rahman et al. (2016) และ Dewi et al. (2021) ชี้ว่า เกษตรกรมักจะติดตามข้อมูลผ่านช่องทางที่เป็นตัวบุคคลซึ่งสามารถมีปฏิสัมพันธ์โดยตรงได้ง่าย ขณะที่ Chen and Lu (2020) กลับพบว่า เกษตรกรในมณฑลกว่างตุง ประเทศจีน เข้าถึงข้อมูลจากโทรทัศน์มากที่สุด รองลงมาจึงเป็นช่องทางที่ผ่านตัวบุคคล และยังคงแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างช่องทางรับข้อมูลกับคุณลักษณะของเกษตรกรด้วย สำหรับการศึกษาในประเทศไทยของ สินีสุข คุรุทเมือง แสนเสริม และคณะ (2564) พบว่า เกษตรกรรับรู้ข่าวสารจากสื่อที่เป็นตัวบุคคลเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร และเพื่อนบ้าน เช่นเดียวกับงานของ เบญจมาศ อยู่ประเสริฐ และบำเพ็ญ เขียวหวาน (2558) ที่พบว่ากรณีสื่อที่เป็นตัวบุคคล เกษตรกรรับรู้ข้อมูลข่าวสารจากเพื่อนบ้าน รองลงมาคือเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร อย่างไรก็ตาม ทั้งสองการศึกษาแสดงช่องทางการรับรู้ข้อมูลการเกษตรในภาพรวม

การศึกษาที่ผ่านมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสภาพอากาศกับการปรับตัวของเกษตรกร สำหรับการศึกษาที่มุ่งสนใจไปที่การปลูกพืชทางเลือกทดแทนข้าวนาปรังซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งในการปรับตัว โดยพิจารณาทั้งข้อมูลสภาพอากาศและนโยบายเกษตร เพื่อศึกษาการตัดสินใจปลูกพืชทางเลือกของเกษตรกร อีกทั้งได้สำรวจช่องทางการรับรู้ข้อมูลแต่ละประเภทของเกษตรกรที่จะให้รายละเอียดช่องทางการรับรู้เพิ่มเติมจากการศึกษาการรับรู้ข้อมูลที่เป็นภาพรวม ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการสื่อสารให้กับหน่วยงานภาครัฐ ในการประชาสัมพันธ์และการแจ้งเตือนภัยผ่านช่องทางต่าง ๆ ให้เกษตรกรได้รับรู้ข้อมูลเพื่อเตรียมรับสถานการณ์และป้องกันความเสียหายจากภัยพิบัติ ตามแผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาภัยพิบัติด้านการเกษตรในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งเป็นแผนระดับจังหวัดที่มีการบูรณาการการทำงานระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดอุทัยธานี, 2564)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการตอบสนองของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวนาปรังในการตัดสินใจปลูกพืชทางเลือกเมื่อได้รับข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศและนโยบายการยกเลิกการเยียวยาภัยแล้งข้าวนาปรังซึ่งเป็นการช่วยเหลือแบบให้เปล่า

โดยใช้วิธีการทดลองในสนามที่ประดิษฐ์ขึ้น (artefactual field experiment) ซึ่งเหมาะแก่การศึกษาการตอบสนองของเกษตรกร และใช้ในการประเมินนโยบายก่อนดำเนินการ (Colen et al., 2016) ในที่นี้อยู่ในรูปแบบของการเล่นเกม และศึกษาช่องทางการรับรู้ข้อมูลของเกษตรกร เพื่อทำความเข้าใจพฤติกรรมการติดตามข้อมูลแต่ละประเภทของเกษตรกร โดยดำเนินการวิจัยในพื้นที่จังหวัดอุทัยธานี เนื่องจากเป็นจังหวัดที่มีความเสี่ยงสูงจากปัญหาล้าง โดยช่วงปี 2559-2563 จังหวัดอุทัยธานีเกิดภัยแล้งที่ทำให้พื้นที่การเกษตรได้รับความเสียหายถึง 4 ครั้ง คิดเป็นมูลค่าความเสียหาย 373 ล้านบาท (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดอุทัยธานี, 2564) ผลการศึกษาจะเป็นข้อมูลสำหรับนโยบายส่งเสริมการปรับตัวเพื่อลดพื้นที่ปลูกข้าวนาปรัง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดภัยแล้ง และช่วยในการสื่อสารข้อมูลของภาครัฐไปยังเกษตรกรได้อย่างตรงเป้าหมายยิ่งขึ้น

วิธีการศึกษา

กลุ่มตัวอย่างและพื้นที่ที่ศึกษา

ประชากรในการศึกษาเป็นเกษตรกรที่เคยปลูกข้าวนาปรังในช่วงปี 2555-2563 ในอำเภอทัพทัน จังหวัดอุทัยธานี กำหนดขนาดตัวอย่างด้วยหลัก power analysis โดยใช้โปรแกรม G*Power สำหรับทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มด้วย Mann Whitney U test (Wilcoxon rank-sum test) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) เท่ากับ 0.05 อำนาจการทดสอบ (power) เท่ากับ 0.80 และค่าอิทธิพล (effect size) เท่ากับ 0.866 ซึ่งคำนวณจากค่าเฉลี่ยของดัชนีการตัดสินใจปลูกพืชของกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับข้อมูลสภาพอากาศและสื่อสารกันในกลุ่มได้ จากงานวิจัยของ Mongkolsri (2016) ซึ่งเป็นงานที่ใกล้เคียงกับการศึกษานี้ เนื่องจากงานดังกล่าวไม่ได้แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จึงสมมติให้เป็นสองเท่าของค่าสัมบูรณ์ของค่าเฉลี่ย ได้ขนาดตัวอย่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับการทดลอง กลุ่มละ 19 ราย อย่างไรก็ตาม กำหนดเป็นกลุ่มละ 20 ราย และการทดลองออกแบบไว้ 4 กลุ่ม ดังนั้นรวมทั้งหมดเป็น 80 ราย และเลือกพื้นที่อำเภอทัพทันเนื่องจากเป็นอำเภอที่มีการปลูกข้าวและมีปริมาณน้ำชลประทานจำกัดในฤดูนาปรัง ตามคำแนะนำของเกษตรจังหวัดอุทัยธานีและสำนักงานชลประทานที่ 12

การรวบรวมข้อมูล

ใช้การทดลองในสนามที่ประดิษฐ์ขึ้น (artefactual field experiment) ซึ่งอยู่ในรูปแบบของการเล่นเกม เพื่อรวบรวมข้อมูลการตัดสินใจปลูกพืชทางเลือกของเกษตรกรเมื่อได้รับข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศและข้อมูลนโยบายการยกเลิกการเยียวยาภัยแล้งข้าวนาปรัง ซึ่งจะอธิบายการออกแบบการทดลองในหัวข้อถัดไป สำหรับช่องทางการรับรู้ข้อมูลของเกษตรกรในด้านสภาพอากาศและนโยบายเกษตร รวมถึงคุณลักษณะของเกษตรกร ได้จากการสัมภาษณ์โดยใช้แบบสอบถาม ในส่วนของช่องทางการรับรู้ข้อมูล เกษตรกรทำการเลือกตอบจากทางช่องทางต่าง ๆ ในแบบสอบถาม โดยสามารถเลือกตอบได้หลายข้อ และยังได้สอบถามความเชื่อที่รัฐจะยกเลิกเงินเยียวยาความเสียหายจากภัยพิบัติข้าวนาปรัง ด้วยการให้คะแนนจาก 1-7 โดย 1 คือเชื่อว่าเป็นไปไม่ได้แน่นอน และ 7 คือเป็นไปได้แน่นอน เนื่องจากความเชื่อดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อตัดสินใจในเกม ซึ่งการให้คะแนน 5 หรือ 7 ค่า โดยมีค่าอธิบายคะแนนต่ำสุดและสูงสุด จะเหมาะกับการนำตัวแปรมาวิเคราะห์สมการถดถอย (Weijters et al., 2010) ในที่นี้เลือก 7 ค่า เนื่องจากต้องการเพิ่มโอกาสที่ข้อมูลจะมีการกระจายตัว ดำเนินการรวบรวมข้อมูลในเดือนมีนาคม 2564 ซึ่งกลุ่มตัวอย่างสมัครใจเข้าร่วมการศึกษาโดยผ่านการประสานงานของหน่วยงานภาครัฐในพื้นที่

การออกแบบการทดลอง

แนวทางการทดลองประยุกต์จากงานที่ใช้เกมในการศึกษาการตัดสินใจของเกษตรกร ของ Mongkolsri (2016) Meinen-Dick et al. (2016) และ Anggraini (2017) ทั้งนี้ งานของ Mongkolsri (2016) มีความใกล้เคียงในประเด็นที่ศึกษาและการออกแบบมากที่สุด ขณะที่อีกสองงานข้างต้นเป็นการศึกษาประเด็นเกี่ยวกับการจัดการทรัพยากรร่วมและผลกระทบภายนอก การศึกษานี้ออกแบบเกมการตัดสินใจปลูกพืช เพื่อทดสอบอิทธิพลของข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศและนโยบายการยกเลิกการเยียวยาภัยแล้งข้าวนาปรัง ภายใต้สถานการณ์จำลองการเกิดภัยแล้งในแต่ละปีเพาะปลูก โดยมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

ขั้นแรก กำหนดกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับการทดลอง (treatment groups) เป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 20 ราย ได้แก่ กลุ่ม 1 เป็นกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับข้อมูลที่ต้องการทดสอบ กลุ่ม 2 เป็นกลุ่มที่ได้รับข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศ (T1) กลุ่ม 3 เป็นกลุ่มที่ได้รับข้อมูลนโยบายยกเลิกการเยียวยาภัยแล้งข้าวนาปรัง (T2) และ กลุ่ม 4 เป็นกลุ่มที่ได้รับทั้งข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศและนโยบายยกเลิกการเยียวยาภัยแล้งข้าวนาปรัง (T3)

ขั้นตอนที่สอง กำหนดเงื่อนไขและสถานการณ์ในการควบคุมการทดลองสำหรับทุกกลุ่ม ดังนี้

1) ให้แต่ละคนมีพื้นที่ปลูกพืชคนละ 5 แปลง โดยให้ตัดสินใจเลือกระหว่างปลูกข้าวนาปรังและพืชทางเลือก และมีรอบการเล่น 12 รอบ ซึ่งเป็นการจำลองรอบการเพาะปลูกข้าวนาปรังของแต่ละปี

2) ในแต่ละรอบของเกม ผู้เล่นมีโอกาสเผชิญกับสภาพอากาศที่มีปริมาณฝนปกติและฝนแล้ง ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นที่กำหนดไว้และได้ทำการสุ่มไว้ล่วงหน้า ความน่าจะเป็นของการเกิดฝนแล้งถูกกำหนดให้สูงขึ้นในทุก ๆ 4 รอบ โดยรอบที่ 1-4 เท่ากับร้อยละ 25 รอบที่ 5-8 ร้อยละ 50 และรอบที่ 9-12 ร้อยละ 75 เพื่อจำลองการเกิดภาวะแล้งที่มีความถี่สูงขึ้น ซึ่งใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ชลประทานและเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรในพื้นที่ประกอบการกำหนดค่าความน่าจะเป็น

ขั้นตอนที่สาม กำหนดการคำนวณผลตอบแทนในแต่ละรอบของข้าวและพืชทางเลือกในนี้คือ ถั่วเขียว เนื่องจากเป็นพืชที่ภาครัฐมีการส่งเสริมในพื้นที่ แบ่งเป็น 2 กรณี คือสถานการณ์ที่มีปริมาณฝนปกติ และสถานการณ์ฝนแล้ง ผลตอบแทนต่อรอบที่ใช้ในเกมแสดงใน Table 1 การกำหนดค่าผลตอบแทนและพืชทางเลือกได้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่กรมส่งเสริมการเกษตรและเกษตรกรในพื้นที่เบื้องต้นก่อนดำเนินการและปรับค่าให้ง่ายในการเล่นเกม

ขั้นตอนที่สี่ กำหนดขั้นตอนและกติกาการเล่นเกม การเล่นเกมจะดำเนินการทีละกลุ่ม ก่อนเริ่มเกมได้ให้ผู้เล่นสุ่มหมายเลขเพื่อแบ่งกลุ่มเป็น 4 กลุ่มย่อย (กลุ่มละ 5 ราย) โดยภายในกลุ่มย่อยสามารถแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันได้ เพื่อสะท้อนบริบทจริงที่เกษตรกรสามารถสื่อสารกับผู้ที่อยู่ในชุมชนหรืออยู่ใกล้เคียงกันได้ แต่ห้ามในการสื่อสารข้ามกลุ่มย่อย ในการเล่นเกม ผู้เล่นจะได้รับบัตรคำตอบที่แสดงแปลงสำหรับเพาะปลูก กระดาษสำหรับจดบันทึก และอุปกรณ์ในการเขียน โดยมีเจ้าหน้าที่อธิบายวิธีการ กติกา และเงื่อนไขต่าง ๆ ให้กับผู้เล่นก่อนเริ่มเกม และมีเจ้าหน้าที่ประจำกลุ่มย่อยเพื่อบันทึกข้อมูลและอำนวยความสะดวกให้กับผู้เล่น ในทุกรอบหลังจากผู้เล่นตัดสินใจเลือกปลูกพืชเรียบร้อยแล้ว เจ้าหน้าที่จะแจ้งสภาพอากาศและคำนวณผลตอบแทนจากการเลือกปลูกพืช และแจ้งให้ผู้เล่นแต่ละรายทราบ ซึ่งเป็นการจำลองรายได้ที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการเพาะปลูกของเกษตรกร

Table 1 Payoff for crop choice games.

Crop choice	Rainfall	
	Normal condition	Drought
Rice	1,000 Baht	500 Baht
Mung bean	400 Baht	800 Baht

การวิเคราะห์ข้อมูล

การตัดสินใจปลูกพืชทางเลือกถูกวัดจากแนวโน้มในการตัดสินใจของเกษตรกร เนื่องจากการตัดสินใจปรับเปลี่ยนการใช้พื้นที่ทางการเกษตรเกี่ยวข้องกับระยะเวลา ตามแนวคิดของ Mongkolsri (2016) โดยสร้างตัวแปร B-index จากการประมาณการความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างจำนวนพื้นที่ที่ใช้ปลูกพืชทางเลือก (ถั่วเขียว) กับรอบของเกม ด้วยสมการถดถอย (regression) ซึ่งถ้า B-index มีค่าเป็นบวกและมีค่าสูงขึ้น จะหมายถึง เกษตรกรยังมีแนวโน้มการตัดสินใจปลูกพืชทางเลือกมากขึ้น

วิเคราะห์ความแตกต่างของการตัดสินใจปลูกพืชทางเลือก (B-index) ระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มที่ได้รับการทดลอง โดยใช้ Mann Whitney U test (Wilcoxon rank-sum test) และใช้สมการถดถอยในการวิเคราะห์อิทธิพลของคุณลักษณะของเกษตรกร ซึ่งใช้เป็นตัวแปรควบคุม ได้แก่ เพศ ระดับการศึกษา ผลตอบแทนจากการทำนาปรางในปีที่ผ่านมา รายได้นอกภาคเกษตร และความเชื่อว่าจะยกเลิกการเลี้ยงวัวภายหลังทำนาปราง

สำหรับช่องทางการรับรู้ข้อมูลของเกษตรกร วิเคราะห์ด้วยสถิติพรรณนา นอกจากนี้ ได้ทดสอบความเกี่ยวข้องระหว่างช่องทางการรับรู้กับลักษณะทางประชากรศาสตร์ ได้แก่ เพศ ระดับการศึกษา และเทอร์ไทล์ (tertile) ของอายุ ด้วย Chi-square test และ Fisher exact test โดยพิจารณานัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง

จากข้อมูลเกษตรกรที่เข้าร่วมการศึกษา ในเบื้องต้นได้ทำการตัดข้อมูลใน T3 ที่ไม่สมบูรณ์ออกไป 1 ราย ทำให้เหลือข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ 79 ราย พบว่า เกษตรกรมีอายุเฉลี่ย 52 ปี ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 62) และมีการศึกษาอยู่ในระดับมัธยมหรือเทียบเท่า (ร้อยละ 65) สำหรับข้อมูลด้านเศรษฐกิจ เกษตรกรมีรายได้จากการทำนาปรางในปีที่ผ่านมาเฉลี่ย 62,734 บาท และส่วนใหญ่มียาได้นอกภาคเกษตรต่อบ้างกว่า 50,000 บาท นอกจากนี้ เกษตรกรมีความเชื่อว่ามีความเป็นไปได้ค่อนข้างน้อย (3.19) ที่รัฐจะยกเลิกการเลี้ยงวัวภายหลังทำนาปราง รายละเอียดแสดงใน Table 2

เพื่อให้มีความชัดเจนว่าผลการทดลองไม่ถูกรบกวนจากลักษณะที่ต่างกันของตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม ได้มีการทดสอบความแตกต่างของกลุ่มตัวอย่างระหว่างกลุ่ม ด้วย Kruskal Wallis test ยกเว้นเพศที่เป็นข้อมูลนามบัญญัติ พบว่า ข้อมูลตัวแปรของแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นตัวแปรความเชื่อว่ารัฐจะยกเลิกการเยียวยาภัยแล้งซ้ำวนาปรมีค่าเฉลี่ยไม่เท่ากันทุกกลุ่ม

Table 2 Characteristics of respondents.

Variables	Mean	Standard deviation
Age (year)	51.77	8.94
Off-season rice income (Baht)	62,734.00	75,447.70
The belief that government will cancel drought relief measures (1-7)	3.19	2.03
	Frequency	Percentage
Female	49	62.03
Education		
Primary and below	19	24.05
Secondary and be equivalent	51	64.56
Above Secondary	9	11.39
Non-agricultural income		
None	10	12.66
Below 50,000 Baht	45	56.96
50,001-70,000 Baht	13	16.46
70,001-100,000 Baht	9	11.39
Above 100,000 Baht	2	2.53

อิทธิพลของข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศและการยกเลิกการเยียวยาภัยแล้งต่อการตัดสินใจปลูกพืชทางเลือก

หลังจากสร้างตัวแปร B-index ซึ่งใช้เป็นตัวชี้บอกการตัดสินใจปลูกพืชทางเลือกของเกษตรกร และผลการวิเคราะห์ด้วย Mann Whitney U test (Wilcoxon rank-sum test) แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกปลูกพืชทางเลือก โดย T1 มีค่าเฉลี่ยของ B-index สูงกว่ากลุ่มควบคุม ขณะที่ T2 ค่าเฉลี่ยของ B-index ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ซึ่งว่า การได้รับเพียงข้อมูลนโยบายยกเลิกการเยียวยาภัยแล้งซ้ำวนาปรมิมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกปลูกพืชทางเลือก นอกจากนี้ ค่าเฉลี่ยของ B-index ของ T3 ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 (Table 3)

Table 3 Comparing alternative cropping decision (B-index).

Groups	Mean	Standard deviation	Mean difference	P-value
Treatment 1 (T1)	0.088	0.135	Control group < T1	0.007**
Treatment 2 (T2)	0.001	0.135	Indifference	0.808
Treatment 3 (T3)	0.072	0.160	Indifference	0.058

Mean and standard deviation of the control group are -0.023 and 0.088.

*, ** significant level at 0.05 and 0.01 respectively.

ยิ่งไปกว่านั้น ผลการวิเคราะห์การตัดสินใจปลูกพืชทางเลือกโดยเพิ่มตัวแปรควบคุม ยังมีความสอดคล้องกับผลจาก Mann Whitney U test (Wilcoxon rank-sum test) โดยข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศมีอิทธิพลในทิศทางบวกต่อการตัดสินใจ

ปลูกพืชทางเลือก และการได้รับทั้งข้อมูลพยากรณ์สภาพภูมิอากาศและนโยบายยกเลิกการเยียวยาภัยแล้งข้าวนาปรังก็มีอิทธิพลในทำนองเดียวกัน (Table 4) สอดคล้องกับงานของ Mongkolsri (2016) ที่พบอิทธิพลของการให้ข้อมูลสภาพอากาศและการสื่อสารระหว่างเกษตรกรต่อการตัดสินใจปลูกพืชทางเลือก ขณะที่การศึกษานี้อนุญาตให้เกษตรกรสื่อสารกันภายในกลุ่มย่อยได้เป็นข้อกำหนดเริ่มต้น ผลการศึกษายังเป็นไปในทำนองเดียวกับงานที่ใช้ข้อมูลเชิงสังเกต (observational data) ของ Belay et al. (2017) ที่แสดงให้เห็นว่า การเข้าถึงข้อมูลสภาพอากาศส่งผลต่อการตัดสินใจปรับตัวของเกษตรกรรายย่อยในเอธิโอเปีย เนื่องจากข้อมูลสภาพอากาศจะช่วยในการตัดสินใจวางแผนในการปรับตัว เช่นเดียวกับงานของ Ndamani and Watanabe (2016) ที่พบว่า การเข้าถึงข้อมูลสภาพอากาศของเกษตรกรจะทำให้มีโอกาสปรับตัวเพิ่มขึ้น หรือกล่าวในอีกทางหนึ่งคือการไม่สามารถคาดการณ์สภาพอากาศได้เป็นอุปสรรคสำคัญต่อการปรับตัวของเกษตรกร

ผลการศึกษาไม่พบอิทธิพลของการได้รับเพียงข้อมูลนโยบายยกเลิกการเยียวยาภัยแล้งข้าวนาปรัง ทั้งนี้อาจเพราะอัตราการเยียวยาที่เกษตรกรเคยได้รับไม่สูงพอที่จะเห็นว่าหากถูกยกเลิกไปแล้ว ผลตอบแทนที่คาดหวังของการปลูกข้าวนาปรังจะน้อยลงจนมีนัยสำคัญให้เปลี่ยนไปปลูกพืชทางเลือก เมื่อพิจารณาจากกรณีข้าวนาปีของ นณริฏ พิศลยบุตร (2563) ที่แสดงให้เห็นว่า ความช่วยเหลือจากโครงการเยียวยาความเสียหายจากภัยพิบัติ คิดเป็นประมาณร้อยละ 30 ของต้นทุนการผลิตต่อไร่ และมีเงื่อนไขช่วยเหลือจำกัดไม่เกิน 30 ไร่ โดยจะต้องอยู่ในพื้นที่ที่มีการประกาศเขตภัยพิบัติและได้รับการประเมินว่าเป็นพื้นที่ที่เสียหายโดยสิ้นเชิง อีกทั้งความล่าช้าในการดำเนินงานที่มีหลายขั้นตอน ทำให้เกษตรกรบางรายอาจมีประสบการณ์จัดการความเสี่ยงด้วยตนเองอยู่แล้วโดยไม่ต้องพึ่งภาครัฐ

Table 4 Regression of alternative cropping decision (B-index) with control variables.

Variables	Coefficient	Standard error	P-value
Treatment 1 (T1)	0.122	0.048	0.014*
Treatment 2 (T2)	0.053	0.048	0.274
Treatment 3 (T3)	0.130	0.049	0.010*
Age	0.001	0.002	0.486
Female	-0.008	0.035	0.824
Education			
Secondary and be equivalent	0.072	0.043	0.098
Above Secondary	0.131	0.064	0.046*
Off-season rice income	0.000	0.000	0.221
Non-agricultural income			
Below 50,000 Baht	-0.047	0.048	0.339
50,001-70,000 Baht	-0.064	0.059	0.281
70,001-100,000 Baht	-0.022	0.066	0.741
Above 100,000 Baht	-0.108	0.107	0.313
The belief that government will cancel drought relief measures	-0.013	0.008	0.103
constant	-0.070	0.138	0.613
<i>n</i>	79		
<i>R-squared</i>	0.2364		

*, ** significant level at 0.05 and 0.01 respectively.

ช่องทางการรับรู้ข้อมูลของเกษตรกร

จากการสอบถามที่ให้เกษตรกรเลือกตอบได้หลายช่องทาง แสดงช่องทางที่เกษตรกรติดตามข้อมูลสภาพอากาศและนโยบายเกษตร ใน Table 5 โดยค่าสถิติที่แสดงของแต่ละช่องทางเป็นจำนวนและร้อยละของขนาดตัวอย่าง 79 ราย กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ติดตามข้อมูลสภาพอากาศจากโทรทัศน์มากที่สุด (ร้อยละ 89) รองลงมาเป็นแอปพลิเคชันไลน์ (Line) (ร้อยละ 22) และเจ้าหน้าที่เกษตร (ร้อยละ 20) สังเกตได้ว่าเป็นการติดตามผ่านสื่อสาธารณะที่มีความสะดวกในการติดตามได้ทุกวัน ส่วนการรับรู้ผ่านแอปพลิเคชันไลน์ (Line) ของเกษตรกร เป็นการสร้างกลุ่มและสื่อสารกันซึ่งมีความสะดวกในการติดตามผ่านแอปพลิเคชันในโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผลการศึกษาเป็นไปในทางเดียวกับงานของ Chen and Lu (2020) ที่พบว่า เกษตรกรเข้าถึงข้อมูลจากโทรทัศน์มากที่สุด รองลงมาเป็นคนในชุมชน (fellow-villagers) ญาติและเพื่อน ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม งานดังกล่าวไม่ได้เฉพาะเจาะจงข้อมูลสภาพอากาศ

ผลสำรวจช่องทางที่เกษตรกรใช้ติดตามนโยบายเกษตรหรือมาตรการต่าง ๆ (Tables 5) กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่รับรู้ข้อมูลจากเจ้าหน้าที่เกษตรมากที่สุด (ร้อยละ 80) ซึ่งเป็นไปได้ว่าเจ้าหน้าที่เกษตรเป็นผู้มีข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับนโยบายและสะดวกในการสอบถาม อีกทั้งเจ้าหน้าที่เกษตรกับเกษตรกรมีการติดต่อและประสานงานกันอยู่เป็นประจำ รองลงมาเป็นโทรทัศน์ (ร้อยละ 67) และแอปพลิเคชันไลน์ (Line) (ร้อยละ 25) ตามลำดับ มีการศึกษาที่ชี้ให้เห็นถึงความพึงพอใจของเกษตรกรในการรับข้อมูลผ่านตัวบุคคลซึ่งมีปฏิสัมพันธ์ได้โดยตรง ในงานของ Dewi et al. (2021) ที่พบว่า เกษตรกรที่บาเล (Bali) ประเทศอินโดนีเซีย รับรู้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลการตลาดทั้งทางตรงและทางอ้อมผ่านทางบุคคลมากกว่าสื่อที่ไม่ใช่บุคคล อีกทั้งยังเห็นว่าแหล่งข้อมูลที่เป็นบุคคลน่า พึงพอใจ จูงใจ (motivated) เข้าใจและเข้าถึงได้ง่ายกว่าแหล่งข้อมูลที่ไม่ใช่บุคคล เช่น โทรทัศน์ สื่อออนไลน์ และวิทยุ และงานของ Rahman et al. (2016) ที่พบว่า เกษตรกรพึงพอใจข้อมูลจากเพื่อนบ้านมากที่สุด เพราะสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ตลอดเวลา มีความน่าเชื่อถือ เป็นแหล่งพึ่งพาปัจจัยการผลิต และเข้าใจสถานการณ์จึงมีคำแนะนำที่ดี

การทดสอบความเกี่ยวข้องระหว่างช่องทางการรับรู้กับลักษณะทางประชากรศาสตร์ ด้วย Chi-square test และ Fisher exact test แสดงผลสรุปใน Table 6 ผลการทดสอบชี้ว่า การศึกษามีความเกี่ยวข้องกับการรับรู้ผ่านทางเจ้าหน้าที่เกษตร ในกรณีของข้อมูลนโยบายเกษตร และในกรณีข้อมูลสภาพภูมิอากาศ การศึกษาเกี่ยวข้องกับทั้งการรับรู้ผ่านทางเจ้าหน้าที่เกษตรและเจ้าหน้าที่ชลประทาน โดยทั้งสองกรณี ผู้มีการศึกษาสูงมีสัดส่วนการรับรู้ข้อมูลจากเจ้าหน้าที่รัฐมากกว่าผู้ที่ได้รับการศึกษาในระดับต่ำกว่า คล้ายกับงานของ Chen and Lu (2020) ที่พบความสัมพันธ์ระหว่างการศึกษากับการเข้าถึงข้อมูลผ่านเจ้าหน้าที่รัฐในทิศทางบวก อาจเป็นเพราะยิ่งเกษตรกรที่ได้รับการศึกษาสูงขึ้น ความต้องการใช้ข้อมูลเพื่อวางแผนการผลิตจะมากขึ้นด้วย งานของ Jha and Gupta (2021) อธิบายว่า เกษตรกรที่มีการศึกษาในระดับสูงจะมีโอกาสปรับตัวสูง และจะมีความตระหนักสูงในการเข้าถึงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและเทคโนโลยีที่ทันสมัยซึ่งนำไปสู่ผลิตภาพการผลิตที่สูงขึ้น

Table 5 Information channels of respondents.

Channels	Climate		Agricultural policy	
	Frequency	Percentage	Frequency	Percentage
Radio	14	17.72	8	10.13
Television	70	88.61	53	67.09
Newspaper	7	8.86	9	11.39
Fellow-villagers/ friends	6	7.59	16	20.25
Application (Line)	17	21.52	20	25.32
Agricultural officers	16	20.25	63	79.75
Irrigation officers	13	16.46	3	3.8
Others	6	7.59	2	2.53

Table 6 Summary of association between channels of information and demographics of respondents.

Types	Channels	Education	Gender	Age tertiles
Climate				
	Radio	0.150 [0.192]	0.307 [0.368]	0.710 [0.657]
	Television	0.415 [0.418]	0.671 [0.724]	0.111 [0.156]
	Newspaper	0.296 [0.267]	0.274 [0.417]	0.878 [0.890]
	Fellow-villagers/ friends	0.354 [0.417]	0.132 [0.194]	0.557 [0.573]
	Application (Line)	0.125 [0.127]	0.051 [0.088]	0.836 [0.836]
	Agricultural officers	0.036 [0.013]*	0.594 [0.774]	0.065 [0.056]
	Irrigation officer	0.055 [0.037]*	0.968 [1.000]	0.483 [0.442]
Agricultural Policy				
	Radio	0.418 [0.309]	0.977 [1.000]	0.751 [0.894]
	Television	0.303 [0.371]	0.294 [0.331]	0.454 [0.474]
	Newspaper	0.612 [0.766]	0.301 [0.470]	0.464 [0.507]
	Fellow-villagers/ friends	0.140 [0.104]	0.231 [0.265]	0.486 [0.498]
	Application (Line)	0.069 [0.052]	0.055 [0.066]	0.308 [0.319]
	Agricultural officers	0.024 [0.042]*	0.535 [0.580]	0.099 [0.100]
	Irrigation officer	0.425 [0.694]	0.296 [0.554]	0.361 [0.379]

P-value of Chi-square tests are presented and p-value of Fisher exact tests are in [].

*, ** significant level at 0.05 and 0.01 respectively.

สรุปผลการศึกษา

ผลจากการทดลองด้วยรูปแบบการเล่นเกม เพื่อทดสอบอิทธิพลของการได้รับข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศและนโยบายยกเลิกการเยียวยาภัยแล้งข้าวนาปรังต่อการตัดสินใจปลูกพืชทางเลือกของเกษตรกรในพื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกปลูกพืชทางเลือกของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวนาปรัง ขณะที่การได้รับเพียงข้อมูลนโยบายยกเลิกการเยียวยาภัยแล้งข้าวนาปรังกลับไม่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจปลูกพืชทางเลือกของเกษตรกร ผลการศึกษายังคงเป็นไปในทำนองเดียวกัน เมื่อควบคุมด้วยตัวแปรทางประชากรศาสตร์ เศรษฐกิจ และความเชื่อในการดำเนินนโยบายที่ศึกษา

ผลการสำรวจช่องทางการรับรู้ข้อมูลของเกษตรกร พบว่า เกษตรกรรับรู้ข้อมูลสภาพอากาศจากโทรทัศน์มากที่สุด รองลงมาเป็นแอปพลิเคชันไลน์ (Line) สังเกตได้ว่าเป็นช่องทางที่มีความสะดวกในการติดตาม ส่วนนโยบายเกษตรและมาตรการต่าง ๆ เกษตรกรรับรู้ข้อมูลจากเจ้าหน้าที่เกษตรมากที่สุด ซึ่งสามารถมีปฏิสัมพันธ์โดยตรงได้ อีกทั้งยังพบว่า การศึกษามีความเกี่ยวข้องกับการรับรู้ข้อมูลทั้งสองประเภทจากเจ้าหน้าที่รัฐ

จากผลการศึกษา ชี้ให้เห็นว่าควรมีการสนับสนุนข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศที่มีความจำเพาะในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงจากภัยแล้ง เช่น พื้นที่แล้งซ้ำซาก ทั้งการพยากรณ์เป็นรายฤดูกาลและรายปี เป็นข้อมูลเพิ่มเติมจากมาตรการเฝ้าระวังและแจ้งเตือนภัยพิบัติ และการวางแผนการเพาะปลูกพืชฤดูแล้ง ซึ่งการประชาสัมพันธ์ข้อมูลข่าวสารกับเกษตรกรเป็นมาตรการหนึ่งของภาครัฐ โดยข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศควรสื่อสารผ่านช่องทางที่เกษตรกรติดตามได้เป็นประจำและมีความสะดวก เช่น ทางโทรทัศน์และแอปพลิเคชันของโทรศัพท์เคลื่อนที่ สำหรับช่องทางการสื่อสารข้อมูลนโยบายเกษตรและมาตรการต่าง ๆ ของภาครัฐ เจ้าหน้าที่เกษตรยังคงมีบทบาทสำคัญ เนื่องจากเกษตรกรสามารถซักถามรายละเอียดของนโยบายได้ ยิ่งไปกว่านั้น เจ้าหน้าที่รัฐควรเน้นการเข้าถึงเกษตรกรกลุ่มที่ไม่ได้มีการศึกษาสูงให้มากขึ้น ในการสื่อสารข้อมูลสภาพอากาศและนโยบายเกษตร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานเกษตรจังหวัดอุทัยธานี สำนักงานเกษตรอำเภอกั๊กพัน และสำนักงานชลประทานที่ 12 ที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินงานและช่วยประสานงานกับเกษตรกรในพื้นที่

เอกสารอ้างอิง

- ทวีศักดิ์ ธนเดโชพล, วิภาพ ทิมสุวรรณ, เลอณูญ อุทุมทรัพย์, วงศ์พันธ์ วงศ์สมุทร และอุทัยวุฒิ ชำนาญแก้ว. 2563. การวิเคราะห์การบริหารจัดการน้ำในสภาวะภัยแล้ง ปี พ.ศ. 2563. ใน รายงานการสัมมนา 13th THAICID National e-Symposium. น. 287-308. กรมชลประทาน, นนทบุรี.
- นณริฏ พิศลยบุตร. 2563. การออกแบบการจัดการความเสี่ยงปัญหาสภาพภูมิอากาศสำหรับการผลิตข้าวของไทย. ใน เอกสารประกอบการสัมมนา การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ: การจัดการความเสี่ยงจากสภาพอากาศ และระบบการประกันภัยพืชผล กรณีศึกษาข้าวนาปี. โรงแรมเดอะเบย์โรดโฮเทล โฮเต็ล, กรุงเทพฯ.
- เบญจมาศ อยู่ประเสริฐ และบำเพ็ญ เขียวหวาน. 2558. การรับรู้ข้อมูลข่าวสารและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ด้านการเกษตรของเกษตรกร. *วารสารสังคมศาสตร์* 4(2): 43-54.
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดอุทัยธานี. 2564. แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาภัยพิบัติด้านการเกษตรในช่วงฤดูแล้ง ปีงบประมาณ 2564/2565 จังหวัดอุทัยธานี. สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. <https://www.opsmoac.go.th/uthaithani-dwl-files-432991791047> (31 ธันวาคม 2564).
- สินีนุช ครูฑาเมือง แสนเสริม, ภรณ์ ต่างวิวัฒน์, เบญจมาศ อยู่ประเสริฐ, บำเพ็ญ เขียวหวาน และณัฐ รัตนเจริญ. 2564. การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการผลิตพืชเศรษฐกิจของเกษตรกร. *วารสารเกษตร มสธ.* 3(1): 31-44.
- Anggraini, E. 2017. *Crop-choice games for analyzing externality problems of rice field conversion into oil palm plantation in North Sumatera province, Indonesia*. No. 2017-RR23. Economy and Environment Program for Southeast Asia (EEPSEA).
- Attavanich, W., Chantararat, S., Chenphuengpaw, J., Mahasuweerachai, P., and Thampanishvong, K. 2019. *Farms, farmers and farming: a perspective through data and behavioral insights*. No. 122. Puey Ungphakorn Institute for Economic Research.
- Belay, A., Recha, J. W., Woldeamanuel, T., and Morton, J. F. 2017. Smallholder farmers' adaptation to climate change and determinants of their adaptation decisions in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Agriculture & Food Security* 6(1): 1-13.
- Chen, Y., and Lu, Y. 2020. Factors influencing the information needs and information access channels of farmers: An empirical study in Guangdong, China. *Journal of Information Science* 46(1): 3-22.
- Colen, L., Gomez y Paloma, S., Latacz-Lohmann, U., Lefebvre, M., Préget, R., and Thoyer, S. 2016. Economic experiments as a tool for agricultural policy evaluation: insights from the European CAP. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie* 64(4): 667-694.
- Dewi, N. M. A. K., Syahlani, S. P., and Haryadi, F. T. 2021. The choice of information sources and marketing channel of Bali cattle farmers in Bali Province. *Open Agriculture* 6(1): 413-425.
- Jha, C. K., and Gupta, V. 2021. Farmer's perception and factors determining the adaptation decisions to cope with climate change: An evidence from rural India. *Environmental and Sustainability Indicators* 10: 100112.
- Mahindaratne, M. G. P. P., and Min, Q. 2018. Developing a model to explore the information seeking behaviour of farmers. *Journal of Documentation* 74(4): 781-803.
- Meinzen-Dick, R., Chaturvedi, R., Domènech, L., Ghate, R., Janssen, M. A., Rollins, N. D., and Sandeep, K. 2016. Games for groundwater governance: field experiments in Andhra Pradesh, India. *Ecology and Society* 21(3): 38.
- Mongkolsri, W. 2016. Crop decision to drought: an artefactual field experiment. Master's thesis (international program), Thammasat University.
- Ndamani, F., and Watanabe, T. 2016. Determinants of farmers' adaptation to climate change: A micro level analysis in Ghana. *Scientia Agricola* 73: 201-208.
- Rahman, M. A., Lalon, S. B., and Surya, M. H. 2016. Information sources preferred by the farmers in receiving farm information. *International Journal of Agricultural Extension and Rural Development* 3(12): 258-262.
- Weijters, B., Cabooter, E., and Schillewaert, N. 2010. The effect of rating scale format on response styles: The number of response categories and response category labels. *International Journal of Research in Marketing* 27(3): 236-247.

วันรับบทความ (Received date) : 13 ต.ค. 64

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 29 ธ.ค. 64

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 9 พ.ค. 65

การเปลี่ยนแปลงความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าแครอท

หลังการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืช

Changes in Germination and Seedlings Growth of Carrot after Seed Pelleting with Plant Nutrients

จักรพงษ์ กางโสภา¹, เพชรรัตน์ จีเพชร¹, นรารัตน์ ทาวงค์¹, อรัญญา สิงโสภา¹ และสุริมาศ จันทะอินทร์¹
Jakkrapong Kangsopa¹, Phetcarat Jeepet¹, Nararat Thawong¹, Aranya Singsopa¹ and Sureemard Chantain¹

บทคัดย่อ

การเพาะปลูกแครอทเพื่อการค้ายังคงประสบปัญหาด้านการเพาะกล้า เนื่องจากเมล็ดพันธุ์แครอทมีรูปร่างแบน ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ทำให้เมล็ดมีความงอก ความแข็งแรงต่ำ และต้นกล้างอกไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาชนิดและปริมาณของธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมสำหรับพอกเมล็ดพันธุ์แครอท โดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วยกรรมวิธีดังนี้ เมล็ดไม่พอก, การพอกเมล็ดด้วย calcium sulfate, การพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.048, 0.096 และ 0.192 กรัม, การพอกเมล็ดร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.064, 0.128 และ 0.256 กรัม, การพอกเมล็ดร่วมกับ KCl อัตรา 0.013, 0.026 และ 0.052 กรัม โดยใช้ calcium sulfate อัตรา 30 กรัมเป็นวัสดุพอก และใช้ carboxymethyl cellulose (CMC) อัตรา 0.1% (w/v) เป็นวัสดุประสานต่อเมล็ดพันธุ์แครอท 3 กรัม ผลการทดลองพบว่า การพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม ทำให้เมล็ดพันธุ์แครอทที่มีความงอกและความเร็วในการงอกสูงที่สุด และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ และการพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม และ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม ทำให้เมล็ดพันธุ์แครอทที่มีความยาวรากและความยาวต้นกล้าสูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ เมื่อเร่งอายุพบว่า การพอกเมล็ดด้วย KNO_3 ทุกอัตราทำให้เมล็ดมีความงอกและความเร็วในการงอกสูงมากกว่าการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารชนิดและอัตราอื่น ๆ แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดไม่พอก เมล็ดที่พอกร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.064 กรัม และเมล็ดที่พอกร่วมกับ KCl 0.013 กรัม และ 0.026 กรัม ส่วนการพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม และ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม มีความยาวต้น ความยาวราก และความยาวต้นกล้าสูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ ดังนั้นสรุปได้ว่าการพอกเมล็ดพันธุ์แครอทร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม จึงเป็นชนิดและปริมาณแนะนำสำหรับใช้พอกร่วมกับเมล็ดพันธุ์แครอทมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ

คำสำคัญ: การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ความงอก ความแข็งแรง ธาตุอาหารพืช

Abstract

Seeding is still a problem with the commercial cultivation of carrots. Due to the carrot seeds having a flat shape and small size, and being lightweight, there is a low degree of vigor and seedling uniformity among the seedlings. Therefore, the objective of this experiment was to determine the type and amount of plant nutrients suitable for carrot seed pelleting. The experiment was conducted at the Seed Technology Laboratory, Faculty of Agricultural Production, Maejo University. A completely randomized design was used as the experimental design, with four replications that consisted of non-pelleted seed, pelleted seed + calcium sulfate, pelleted seed + 0.048,

¹สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹Division of Agronomy, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, San Sai, Chiang Mai, 50290, Thailand

*Corresponding author, E-mail: jakkrapong_ks@mju.ac.th

0.096, or 0.192 g KNO₃, pelleted seed + 0.064, 0.128, or 0.256 g NaH₂PO₄.H₂O, and pelleted seed + 0.013, 0.026, or 0.052 g KCl. Calcium sulfate at 30 g was used as a filler material, and carboxymethyl cellulose (CMC) at 0.1% (w/v) was used as a binder for the carrot seed (3 g). The results show that seeds pelleted with 0.096 g KNO₃ had the best germination and highest speed of germination when compared to other pelleting methods, and the differences were statistically significant. Additionally, seeds pelleted with 0.096 g of KNO₃ and 0.256 g of NaH₂PO₄.H₂O had higher root and shoot lengths when compared to those pelleted with other methods, and the differences were statistically significant. In aging, all the rates of KNO₃ seeding resulted in higher seed germination and speed of germination than did other pelleted seeds with different types and rates of nutrients. However, there were no statistically significant differences when compared to non-pelleted seeds and seeds pelleted with NaH₂PO₄.H₂O at a rate of 0.064 g, and 0.013 g or 0.026 g KCl. Seeds pelleted with 0.096 g of KNO₃ and 0.256 g of NaH₂PO₄.H₂O had higher shoot and root lengths, and the differences were statistically significant when compared to seeds pelleted via other pelleting methods. Therefore, pelleting carrot seeds with 0.096 g of KNO₃ is the most suitable formula for use and is our recommendation.

Keywords: seed enhancement, germination, vigor, plant nutrition

คำนำ

แครอท (Carrot) เป็นพืชกินหัวชนิดหนึ่ง มีลักษณะยาว หัวแครอทมีหลายสี เช่น เหลือง ม่วง ส้ม เป็นต้น นอกจากนี้แครอทเป็นพืชที่อุดมไปด้วยสารเบต้าแคโรทีน วิตามินบี 1 บี 2 และสารโภชนาการสำคัญอื่น ๆ ช่วยทำให้ร่างกายมีภูมิคุ้มกันต่อต้านโรคหวัด เป็นต้น (Sharma, 2018) อย่างไรก็ตาม ในขั้นตอนการเพาะปลูกแครอทในเชิงการค้าส่วนใหญ่นำเข้าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเคลือบหรือพอกเมล็ดจากต่างประเทศ เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับผลิตเมล็ดพันธุ์แครอทต้องมีสภาพหนาวเย็น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 18-21 องศาเซลเซียส (Sharma, 2018) พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยจึงไม่เหมาะสมสำหรับผลิตเมล็ดพันธุ์แครอท อีกทั้งเมล็ดพันธุ์แครอทมีรูปร่างแบน ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ทำให้ไม่เหมาะกับการเพาะปลูกโดยใช้เครื่องมือการเกษตร จึงได้มีการนำเทคนิคการพอกเมล็ดพันธุ์มาเพื่อใช้แก้ปัญหา แต่การนำเข้าเมล็ดแครอทพอกจากต่างประเทศมีราคาขายประมาณ 0.6-1 บาทต่อเมล็ด จึงทำให้เกษตรกรรับภาระต้นทุนการเพาะปลูกสูงตั้งแต่ในกระบวนการอนุบาลต้นกล้า ทั้งนี้เมล็ดพอกจากการนำเข้ามีคุณสมบัติความงอก และความแข็งแรงสูง เนื่องจากมีส่วนผสมของธาตุอาหารพืชและสารเคมีป้องกันโรคที่มีความจำเป็นต่อการงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้า

จากปัญหาดังกล่าว ทำให้การคิดค้นสูตรสารพอกเมล็ดแครอทร่วมกับธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมจะสามารถนำไปใช้ยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ที่ผลิตในประเทศไทยได้ โดยการพอกเมล็ดพันธุ์เป็นการเพิ่มขนาด และรูปร่างของเมล็ดให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เหมาะสมขึ้น เป็นการส่งเสริมการเพาะปลูกให้มีความสะดวก และรวดเร็วในการทำงานมากยิ่งขึ้น (Smith and Miller, 1987; Hill, 1999) และยังช่วยปกป้องเมล็ดพันธุ์จากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยไม่มีผลขัดขวางต่อกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ (บุญมี ศิริ, 2558; Zenk, 2004) นอกจากนี้ การพอกเมล็ดพันธุ์ยังสามารถเพิ่มธาตุอาหารในขั้นตอนการพอกเมล็ดพันธุ์ที่จำเป็นต่อการงอกและการเจริญเติบโตให้กับต้นกล้าพืชได้ ซึ่งในกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ต้องการธาตุอาหารพืชแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความต้องการของพืชและบทบาทของธาตุอาหารพืช อีกทั้งการพอกจะทำให้ธาตุอาหารกระจายตัวอยู่ในรัศมีของรากพืช ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ทันที เช่น การเพิ่มธาตุฟอสฟอรัสเพื่อช่วยกระตุ้นเอนไซม์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมต่อการงอกของเมล็ด (Yang, 2018) ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของราก รากฝอย และรากแขนง (Schachtman et al., 1998) ธาตุโพแทสเซียมกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ เร่งปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมของ

คาร์โบไฮเดรต และการแตกตัวเคลื่อนย้ายแป้งภายในเมล็ด (Sivanesan et al., 2011) และช่วยให้ต้นกล้าพืชมีความต้านทานต่อโรคต่าง ๆ ได้ดีเพิ่มขึ้น (Manning, 2010) ยกตัวอย่างการรายงานของ จักรพงษ์ กางโสภา และบุญมี ศิริ (2562) พบว่า เมื่อเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการพอกเมล็ดร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.4 และ 0.6 กรัม ทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอม ทั้งความยาวต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมได้สูงมากกว่าวิธีการอื่น ๆ และจากการรายงานของ สุริยา ตราชู และคณะ (2559) พบว่า การพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบร่วมกับ KCl อัตรา 1 กรัม ทำให้เมล็ดยาสูบมีความงอก และความเร็วในการงอกสูงมากกว่าวิธีการอื่น ๆ และเมื่อเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ยาสูบที่พอกร่วมกับ KCl อัตรา 0.5 กรัม มีความแข็งแรงมากที่สุด

ดังนั้น ในการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาชนิดและปริมาณของธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมสำหรับพอกเมล็ดพันธุ์แครอท เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์และการเพาะต้นกล้าแครอทให้มีความงอกและความแข็งแรงสูงที่สุด

วิธีการศึกษา

ดำเนินการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ และโรงเรือนทดลอง สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยใช้เมล็ดพันธุ์แครอททางการค้าเป็นเมล็ดพันธุ์ทดลอง ซึ่งดำเนินการวิจัยระหว่างเดือนมกราคม - พฤษภาคม 2564 ดังนี้

การพอกเมล็ดพันธุ์แครอท

การทดลองนี้ใช้เมล็ดพันธุ์แครอทคุโรตะชิมปูล (TOKITA SEED CO.,LTD.) พอกเมล็ดพันธุ์แครอทโดยใช้ calcium sulfate อัตรา 30 กรัมเป็นวัสดุพอก และใช้ carboxymethyl cellulose (CMC) อัตรา 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (w/v) อัตรา 40 มิลลิลิตร เป็นวัสดุประสาน (ธนากร กาวดิลก และคณะ, 2562) จากนั้นนำมาพอกร่วมกับธาตุอาหารพืช 3 ชนิด คือ KNO_3 , $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ และ KCl วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยแบ่งวิธีการทดลองออกเป็น 11 กรรมวิธีดังนี้ เมล็ดไม่พอก (T1), การพอกเมล็ดด้วย calcium sulfate เพียงอย่างเดียว (T2), การพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.048, 0.096 และ 0.192 กรัม (T3-T5 ตามลำดับ), การพอกเมล็ดร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.064, 0.128 และ 0.256 กรัม (T6-T8 ตามลำดับ), การพอกเมล็ดร่วมกับ KCl อัตรา 0.013, 0.026 และ 0.052 กรัม (T9-T11 ตามลำดับ) โดยแต่ละกรรมวิธีใช้เมล็ดพันธุ์แครอท 3 กรัม จากนั้นนำแต่ละกรรมวิธีทดลองมาพอกเมล็ดพันธุ์แครอทด้วยเครื่องพอกเมล็ดพันธุ์แบบถังหมุนรุ่น JK-01 แล้วนำเมล็ดที่ผ่านการพอกแต่ละกรรมวิธีมาลดความชื้นในสภาพอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนความชื้นใกล้เคียงหรือเท่ากับความชื้นเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น ($7\% \pm 2$)

การบันทึกข้อมูล

คุณภาพเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ

เพาะทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ทั้งที่ผ่านการพอกและไม่พอกเมล็ดด้วยวิธี top of paper (BP) ในกล่องพลาสติกใส ($110 \times 110 \times 30$ มิลลิเมตร, ยาว $\times$ กว้าง $\times$ สูง) ทำทั้งหมด 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด จากนั้นนำไปไว้ที่ตู้เพาะความงอกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แล้วประเมินผลความงอก โดยตรวจนับความงอกครั้งแรกในวันที่ 7 ของการเพาะเมล็ด (first count) และความงอกครั้งสุดท้ายเมื่อครบ 14 วันหลังเพาะ (final count) มาประเมินผลลักษณะต่าง ๆ ตามหลักสากล ISTA (2013) ดังนี้

1) การงอกราก ประเมินจากจำนวนรากที่งอกในแต่ละกรรมวิธีทดลอง ทำ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด โดยเริ่มนับเมื่อเมล็ดมีการงอกรากที่ความยาว 2 มิลลิเมตร ในวันที่ 1 และวันที่ 6 หลังจากการเพาะทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การงอกราก ดังนี้

$$\text{การงอกราก (\%)} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกราก}}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะ}} \times 100$$

2) **ความเร็วในการงอกราก** การตรวจนับรากที่มีความยาว 2 มิลลิเมตร ในทุกวัน ตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 6 หลังการเพาะ ทำ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด จากนั้นคำนวณหาความเร็วในการงอกราก ดังนี้

$$\text{ความเร็วในการงอกราก (ราก/วัน)} = \frac{\text{ผลรวมของ [จำนวนรากที่งอกในแต่ละวัน]}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}}$$

3) **ความงอกของเมล็ดพันธุ์** จำนวนเมล็ดพันธุ์ที่งอกเป็นต้นกล้าปกติในวันที่ 7 และวันที่ 14 โดยทำทั้งหมด 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความงอก ดังนี้

$$\text{ความงอก (\%)} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะ}} \times 100$$

4) **ความเร็วในการงอก** ประเมินจำนวนเมล็ดพันธุ์ที่สามารถงอกเป็นต้นกล้าปกติในทุก ๆ วัน ตั้งแต่เริ่มเพาะครั้งแรก ที่ 7 วัน (first count) จนถึงวันที่ 14 หลังเพาะ (final count) โดยทำทั้งหมด 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด จากนั้นคำนวณหาความเร็วในการงอก (AOSA, 1983) ดังนี้

$$\text{ความเร็วในการงอก (ต้น/วัน)} = \frac{\text{ผลรวมของ [จำนวนต้นกล้าปกติที่งอกในแต่ละวัน]}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}}$$

5) **ความยาวต้น ความยาวราก และความยาวต้นกล้า** ความยาวต้นและความยาวรากที่ 14 วันหลังเพาะ ทั้งหมด ทำ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น โดยประเมินความยาวต้นวัดจากโคนลำต้นอ่อนจนถึงปลายใบ ส่วนความยาวรากวัดจากโคนรากแก้วจนถึงปลายราก ส่วนความยาวต้นกล้าตรวจวัดตั้งแต่ปลายรากจนถึงปลายใบ โดยใช้ไม้บรรทัดมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

การเร่งอายุเมล็ดพันธุ์

นำเมล็ดที่ผ่านการพอกและไม่พอก (ชุดควบคุม) ใส่ในถุงผ้าขนาด 10 x 20 เซนติเมตร วางลงบนตะแกรงที่อยู่ในกล่องเร่งอายุ ภายในกล่องมีน้ำปริมาณ 100 มิลลิลิตร โดยให้ระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าตะแกรง 2 เซนติเมตร ปิดกล่องให้สนิทแล้วนำไปไว้ในตู้เร่งอายุเมล็ดพันธุ์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์มาตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลผลของคุณภาพเมล็ดพันธุ์แคโรทหลังการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืช โดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยแปลงข้อมูลเป็นเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ เพื่อวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้วิธี arcsine transformation และแปลงข้อมูลเมื่อมีค่าเป็น 0 โดยวิธี square $\sqrt{X+0.5}$ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของชนิดและอัตราของธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมสำหรับการพอกร่วมกับเมล็ดพันธุ์แคโรท

การตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่า เมล็ดไม่พอกมีการงอกรากและความเร็วในการงอกรากสูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติกับการพอกเมล็ดทุกกรรมวิธี จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ในระยะเวลา 1-6 วัน เมล็ดพันธุ์แคโรทที่ไม่ได้ผ่านการพอกมีอัตราการงอกรากสูงและเร็วกว่าการพอกเมล็ดทุกกรรมวิธี โดย บุญมี ศิริ (2558) อธิบายว่า การพอกเมล็ดที่มีสารหล่อลื่นทำให้เมล็ดที่ผ่านการพอกงอกรากได้ช้าในระยะแรก แต่ต้องไม่มีผลกระทบต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินความงอกคือ การพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม (T4) ทำให้เมล็ดมีความงอกและความเร็วในการงอกสูงที่สุดและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ (Table 1) ซึ่งการประเมินผลแสดงให้เห็น

เห็นว่ากรรมวิธีการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืชด้วยชนิดและอัตราที่เหมาะสม จะไม่ส่งผลกระทบต่อความงอก และความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ นอกจากนี้ KNO_3 ยังมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการงอกของเมล็ด โดย KNO_3 ช่วยเพิ่ม K^+ ในไซโทพลาซึมและแวคิวโอล ทำหน้าที่หลักในการรักษาค่า osmotic potential และ K^+ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์มากกว่า 40 ชนิด (ปิยะดา อธิกุลพิศุทธิ์, 2540; สุนันทิพย์ บุณนาค, 2542) อีกทั้ง KNO_3 ยังแตกตัวให้ออกซิเจนแก่เมล็ด ซึ่งมีส่วนช่วยส่งเสริมให้เมล็ดมีกระบวนการหายใจเพิ่มขึ้น จึงทำให้เมล็ดสามารถงอกได้เร็วสูงขึ้น นอกจากนี้ไนเตรท (NO_3^-) ยังเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจในวิถีทางเลือก pentose phosphate pathway ซึ่งจะทำหน้าที่แทนออกซิเจนในการออกซิไดส์ NADPH ในกระบวนการหายใจของเมล็ด ทำให้เมล็ดคลายการพักตัวและงอกได้มากขึ้นจากเดิม (วันชัย จันทน์ประเสริฐ, 2553)

ส่วนการพอกเมล็ดร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม (T8) ทำให้เมล็ดมีความยาวต้นสูงมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ คือ 4.12 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการพอกเมล็ดด้วย KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม (T4) มีความยาวต้นคือ 4.03 เซนติเมตร ส่วนการพอกเมล็ดด้วย KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม และ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม ทำให้ต้นกล้าแครอทมีความยาวรากและความยาวต้นกล้าสูงมากกว่า และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ (Table 2) เมื่อประเมินการเจริญเติบโตทางด้านความยาวต้นเห็นได้ชัดว่า การพอกเมล็ดด้วย $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม ช่วยส่งเสริมให้ต้นกล้ามีความยาวลำต้นสูงเพิ่มขึ้น 17 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการพอก นอกจากนี้ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม และ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม ยังช่วยให้ต้นกล้าแครอทมีความยาวรากและความยาวต้นกล้าสูงมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด โดย $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ เป็นสารประกอบหลักของฟอสฟอรัสที่ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของราก โดยเฉพาะรากฝอยและรากแขนง นอกจากนี้ โพแทสเซียมยังช่วยให้รากดูดน้ำได้ดียิ่งขึ้น และช่วยในการสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมกระบวนการเคลื่อนย้ายน้ำตาล และแป้ง เป็นต้น (Manning, 2010) และจากการเพิ่มธาตุอาหารพืชเข้าไปในการพอกเมล็ดพันธุ์ ธาตุอาหารจะกระจายตัวอยู่ในรัศมีของรากพืช จึงสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ทันทีโดยไม่สูญหายไป ทำให้การเพิ่ม $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม และ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม เป็นอัตราที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของความยาวรากและความยาวต้นกล้าได้

Table 1 Radicle emergence, speed of radicle emergence, germination and speed of germination of carrot seeds after pelleted seed with difference type and ratio of plant nutrients, tested under laboratory condition.

Treatment ¹	Laboratory condition			
	Radicle emergence	Speed of radicle emergence	Germination	Speed of germination
	(%)	(root/day)	(%)	(plant/day)
T1	85 a ^{2,3}	7.04 a	84 b-d	6.00 b-d
T2	43 b	3.54 b	84 b-d	6.00 b-d
T3	39 b	3.25 bc	83 cd	5.89 cd
T4	36 bc	3.00 bc	93 a	6.64 a
T5	37 bc	3.04 bc	79 d	5.64 d
T6	29 cd	2.38 cd	80 d	5.68 d
T7	47 b	3.92 b	84 b-d	5.97 b-d
T8	40 b	3.34 b	89 b	6.32 b
T9	25 d	2.08 d	80 d	5.71 d
T10	45 b	3.75 b	86 bc	6.14 bc
T11	43 b	3.54 b	87 bc	6.22 bc
F-test	**	**	**	**
CV.(%)	9.99	16.05	3.98	3.69

** : Significantly different at $P \leq 0.01$.

¹ T1 = non-pelleted seed, T2 = pelleted seed + calcium sulfate, T3 = pelleted seed + KNO_3 0.048 g., T4 = pelleted seed + KNO_3 0.096 g., T5 = pelleted seed + KNO_3 0.192 g., T6 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.064 g., T7 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.128 g., T8 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.256 g., T9 = pelleted seed + KCl 0.013 g., T10 = pelleted seed + KCl 0.026 g. and T11 = pelleted seed + KCl 0.052 g.

² Data are transformed by the arcsine before statistical analysis and back transformed data are presented.

³ Means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.01$ by DMRT.

Table 2 Shoot length, root length and seedling length of carrot seeds after pelleted seed with difference type and ratio of plant nutrients, tested under laboratory condition.

Treatment ¹	Laboratory condition		
	Shoot length (cm)	Root length (cm)	Seedling length (cm)
T1	3.52 cd ²	5.08 bc	8.60 bc
T2	3.75 bc	5.26 b	9.01 b
T3	3.59 cd	4.89 b-d	8.48 b-d
T4	4.03 ab	6.33 a	10.36 a
T5	3.52 cd	4.73 b-d	8.26 b-d
T6	3.41 cd	3.92 d	7.32 d
T7	3.45 cd	4.05 cd	7.49 cd
T8	4.12 a	6.34 a	10.46 a
T9	3.45 cd	5.14 b	8.59 bc
T10	3.32 d	4.69 b-d	8.01 b-d
T11	3.33 d	4.44 b-d	7.77 cd
<i>F</i> -test	**	**	**
CV.(%)	6.14	12.76	8.66

** : Significantly different at $P \leq 0.01$.

¹ T1 = non-pelleted seed, T2 = pelleted seed + calcium sulfate, T3 = pelleted seed + KNO_3 0.048 g., T4 = pelleted seed + KNO_3 0.096 g., T5 = pelleted seed + KNO_3 0.192 g., T6 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.064 g., T7 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.128 g., T8 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.256 g., T9 = pelleted seed + KCl 0.013 g., T10 = pelleted seed + KCl 0.026 g. and T11 = pelleted seed + KCl 0.052 g.

² Means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.01$ by DMRT.

ผลการพอกเมล็ดพันธุ์แครอทร่วมกับธาตุอาหารพืชหลังผ่านการเร่งอายุของเมล็ดพันธุ์

หลังการเร่งอายุพบว่า เมล็ดไม่พอกมีการงอกเร็วและความเร็วในการงอกสูง มากกว่าการพอกเมล็ดทุกกรรมวิธีการพอกเมล็ดด้วย calcium sulfate เพียงอย่างเดียว และการพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.048, 0.096 และ 0.192 กรัม (T2-T5) มีความงอกและความเร็วในการงอกสูงมากกว่า และแตกต่างกันในทางสถิติกับกรรมวิธีอื่น ๆ แต่ไม่แตกต่างกันกับการพอกเมล็ดด้วย $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.064 กรัม, KCl อัตรา 0.013 และ 0.026 กรัม (Table 3)

การเร่งอายุเมล็ดพันธุ์เป็นเทคนิควิธีการที่พัฒนาขึ้นโดย Delouche and Baskin (1973) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์พืช โดยให้เมล็ดพันธุ์อยู่ภายใต้สภาพอุณหภูมิสูงและเร่งกระบวนการหายใจ (การใช้อาหาร) แล้วเมล็ดจะปลดปล่อยพลังงานความร้อนและความชื้น ส่งผลให้เมล็ดเสื่อมสภาพเร็วมากขึ้น (ทัศนีย์ จันทรนุ้ม, 2545) จากวิธีการเร่งอายุพบว่า ในระหว่าง 1-6 วัน การพอกเมล็ดทุกกรรมวิธีมีผลการทดลองที่คล้ายกับก่อนพอกก่อนการเร่งอายุ ซึ่งมีการงอกของรากและความเร็วในการงอกที่ช้ากว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการพอก สอดคล้องกับรายงานของ จักรพงษ์ ทางโสภา (2563)

พบว่า เมื่อพอกเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานร่วมกับสารชีวภัณฑ์ มีการงอกรากสูงมากกว่าการพอกเมล็ดทุกกรรมวิธีในระยะ 1-3 วัน แต่ไม่มีผลกระทบต่อความงอกเมล็ดพันธุ์ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาการประเมินต้นกล้าปกติครบ 14 วัน พบว่า การพอกเมล็ดด้วย calcium sulfate เพียงอย่างเดียว และการพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.048, 0.096 และ 0.192 กรัม ยังคงมีความงอกสูง ซึ่งไม่แตกต่างกันกับเมล็ดไม่พอก ดังนั้น การพอกเมล็ดแม้จะมีความล่าช้าของการงอกรากในระยะแรก แต่เมื่อครบกำหนดตามการประเมินความงอกตามมาตรฐานสากล (ISTA, 2013) พบว่าการพอกเมล็ดไม่ขัดขวางต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์แคโรท แต่การพอกเมล็ดพันธุ์แคโรทร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ และ KCl ส่งผลให้ความงอก และความเร็วในการงอกลดลง เนื่องจากปริมาณของ Na^+ และ Cl^- ที่เพิ่มมากขึ้น และอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการเร่งอายุ จะมีผลกระทบต่อกรดที่เพิ่มน้ำของเมล็ดที่ลดลง จึงทำให้กระบวนการงอกของเมล็ดหยุดชะงักหรือเกิดขึ้นได้ช้า (Luan et al., 2014; Chowdhury et al., 2018)

ส่วนการพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม และ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม มีความยาวต้น ความยาวราก และความยาวต้นกล้าสูงมากกว่า และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ (Table 4) ซึ่งผลการทดลองพบว่า วิธีการพอกเมล็ดช่วยป้องกันคุณภาพเมล็ดพันธุ์จากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ โดย calcium sulfate ที่มีคุณสมบัติดูดซึมน้ำได้ดี และมีอนุภาคดินไหลปานกลาง ทำให้ก่อนพอกเมล็ดมีรูปร่างเรียบเนียน และแข็งแรงทนทาน (Saint-Gobain Formula, 2021) จึงเปรียบเสมือนการสวมเกราะป้องกันให้กับเมล็ดพันธุ์แคโรท ช่วยชะลอความร้อนและความชื้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์แคโรทได้ ซึ่งสอดคล้องกับ บุญมี ศรี (2558) และ Gawande et al. (1980) รายงานว่า การพอกเมล็ดจะช่วยป้องกันเมล็ดพันธุ์จากสภาวะความเครียดจากความร้อน โดยลดอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรอบเมล็ดได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ การพอกเมล็ดพันธุ์แคโรทร่วมกับธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม ซึ่งช่วยในการสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน รวมถึงประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช อีกทั้งยังส่งเสริมการต้านทานโรคและแมลงบางชนิดได้ เป็นต้น (Manning, 2010) ส่วน $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก และรากดูดใช้โพแทสเซียมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Schachtman et al., 1998) จึงทำให้การพอกเมล็ดด้วย KNO_3 และ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ มีส่วนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าแคโรทได้สูงมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ แม้เมล็ดจะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ส่วนเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการพอก เมื่อได้รับความชื้นสูงจากวิธีการเร่งอายุ ทำให้เมล็ดถูกกระตุ้นให้ hydrolytic enzyme เร่งกระบวนการเมแทบอลิซึมเกิดขึ้น อาหารที่สะสมภายในเมล็ดจะถูกย่อยและเกิดการปลดปล่อยความร้อน รวมถึงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเร่งอายุ ส่งเสริมให้กิจกรรมเมแทบอลิซึมและการทำงานของเอนไซม์สูงขึ้น เมล็ดมีการหายใจสูงขึ้น เกิดกระบวนการ peroxidation ซึ่งปลดปล่อยอนุมูลอิสระซึ่งเป็นอนุมูลที่ดึงอิเล็กตรอนจากไฮโดรเจนของชีวโมเลกุลอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียง เช่น ลิพิด และโปรตีนที่เป็นอาหารสะสม หรือส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ เกิดผลเสียหายต่อโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ โดยเฉพาะเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารต่าง ๆ (ทัศนีย์ จันทรนุ้ม, 2545; McDonald, 1999) ซึ่งมีผลกระทบต่อกระบวนการเคลื่อนย้ายอาหารต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้ โดยเฉพาะการพอกเมล็ดพันธุ์แคโรทร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ และ KCl เนื่องจากปริมาณของ Na^+ และ Cl^- ที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดการสะสมของเกลือบริเวณราก ซึ่งมีผลต่อการดูดซึมน้ำและธาตุอาหาร ทำให้เกิดการยับยั้งการยืดยาวของเซลล์ส่วนรากและลำต้นได้ (Chowdhury et al., 2018) อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการเร่งอายุยังส่งผลกระทบต่ออายุการยืดยาวของรากและลำต้นได้อีกด้วย (Luan et al., 2014)

Table 3 Radicle emergence, speed of radicle emergence, germination and speed of germination of carrot seeds tested under laboratory condition, after pelleting process with difference type and ratio of plant nutrients, and accelerated aging.

Treatment ¹	Laboratory condition			
	Radicle emergence (%)	Speed of radicle emergence (root/day)	Germination (%)	Speed of germination (plant/day)
T1	67 a ^{2,3}	5.59 a	70 a	5.04 a
T2	18 bc	1.46 c	70 a	4.97 a
T3	18 bc	1.46 c	72 a	5.11 a
T4	20 bc	1.67 bc	70 a	5.00 a
T5	20 bc	1.62 bc	70 a	5.00 a
T6	15 cd	1.25 cd	65 ab	4.64 ab
T7	20 bc	1.63 bc	60 bc	4.29 b
T8	25 b	2.08 b	59 c	4.18 b
T9	17 c	1.38 cd	64 a-c	4.57 ab
T10	18 bc	1.50 bc	63 a-c	4.50 ab
T11	10 d	0.83 d	58 c	4.14 b
<i>F</i> -test	**	**	**	**
CV.(%)	12.00	20.14	6.70	8.72

** : Significantly different at $P \leq 0.01$.

¹ T1 = non-pelleted seed, T2 = pelleted seed + calcium sulfate, T3 = pelleted seed + KNO_3 0.048 g., T4 = pelleted seed + KNO_3 0.096 g., T5 = pelleted seed + KNO_3 0.192 g., T6 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.064 g., T7 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.128 g., T8 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.256 g., T9 = pelleted seed + KCl 0.013 g., T10 = pelleted seed + KCl 0.026 g. and T11 = pelleted seed + KCl 0.052 g.

² Data are transformed by the arcsine before statistical analysis and back transformed data are presented.

³ Means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.01$ by DMRT.

Table 4 Shoot length, root length and seedling length of carrot seeds tested under laboratory condition, after pelleting process with difference type and ratio of plant nutrients, and accelerated aging.

Treatment ¹	Laboratory condition		
	Shoot length (cm)	Root length (cm)	Seedling length (cm)
T1	3.29 c ²	5.23 b	8.53 bc
T2	3.64 b	5.12 b	8.75 b
T3	3.54 bc	5.18 b	8.71 b
T4	3.99 a	6.06 a	10.05 a
T5	3.48 bc	4.24 c-e	7.72 cd
T6	3.31 c	4.07 e	7.38 d
T7	3.51 bc	4.18 de	7.69 cd
T8	4.03 a	6.24 a	10.27 a
T9	3.43 bc	5.01 bc	8.44 bc
T10	3.28 c	4.95 b-d	8.23 b-d
T11	3.30 c	4.46 b-e	7.76 cd

F-test	**	**	**
CV.(%)	5.35	10.09	6.81

** : Significantly different at $P \leq 0.01$.

¹ T1 = non-pelleted seed, T2 = pelleted seed + calcium sulfate, T3 = pelleted seed + KNO_3 0.048 g., T4 = pelleted seed + KNO_3 0.096 g., T5 = pelleted seed + KNO_3 0.192 g., T6 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.064 g., T7 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.128 g., T8 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.256 g., T9 = pelleted seed + KCl 0.013 g., T10 = pelleted seed + KCl 0.026 g. and T11 = pelleted seed + KCl 0.052 g.

² Means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.01$ by DMRT.

สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาการพอกเมล็ดพันธุ์แครอทร่วมกับธาตุอาหารพืชด้วยชนิดและอัตราแตกต่างกัน สรุปได้ดังนี้

1. การพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม เมล็ดพันธุ์แครอทมีความงอกและความเร็วในการงอกสูงที่สุด คือ 93 เปอร์เซ็นต์ และ 6.64 ต้นต่อวัน ตามลำดับ และมีความยาวรากและความยาวต้นกล้าสูงมากกว่า และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ ส่วนการพอกเมล็ดร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม เมล็ดพันธุ์แครอทมีความยาวรากและความยาวต้นกล้าสูงมากกว่า และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ

2. เมื่อเร่งอายุพบว่า การพอกเมล็ดด้วย KNO_3 ทุกอัตรา เมล็ดมีความงอกและความเร็วในการงอกสูงมากกว่าการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารชนิดและอัตราอื่น ๆ แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดไม่พอก และการพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม และ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม มีความยาวต้น ความยาวรากและความยาวต้นกล้าสูงมากกว่า และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ

ดังนั้นการพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม จึงเป็นชนิดและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการพอกร่วมกับเมล็ดพันธุ์แครอท

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนนักวิจัยบุคลากรประเภทสายวิชาการ ประจำปีงบประมาณ 2564 คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้งบประมาณสนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้การสนับสนุนสถานที่ดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จักรพงษ์ กางโสภา และบุญมี ศิริ. 2562. การเปลี่ยนแปลงความงอก ความแข็งแรง และการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) หลังการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับฟอสฟอรัส. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 37(2): 274-283.
- จักรพงษ์ กางโสภา. 2563. การพอกเมล็ดด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ MMO1 และ MMO2 ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวโพดหวาน ลูกผสม. วารสารแก่นเกษตร 48(ฉบับพิเศษ 1): 299-304.
- ทัศนีย์ จันทน์นุ้ม. 2545. วิธีการเร่งอายุเมล็ดเพื่อทำนายศักยภาพในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง 4 พันธุ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพืชไร่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ธนากร กาวดิลก, บุญมี ศิริ และอารักษ์ ธีระอำพล. 2562. ผลของการพอกเมล็ดร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต GA_3 และ IAA ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม. วารสารแก่นเกษตร 47(5): 1027-1036.
- บุญมี ศิริ. 2558. การปรับปรุงสภาพและยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์. ขอนแก่น: โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.
- ปิยะดา ธีรกุลพิศุทธิ์. 2540. สรีรวิทยาของพืช. ขอนแก่น: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วันชัย จันทน์ประเสริฐ. 2553. สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์. กรุงเทพฯ: คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุนนทิพย์ บุญนาค. 2542. สรีรวิทยาเบื้องต้นของพืช. ขอนแก่น: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- สุริยา ตราฐ, นิวัต เหลืองชัยศรี และบุญมี ศิริ. 2559. การพอกเมล็ดด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตและโพแทสเซียมคลอไรด์ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ยาสูบ. *วารสารแก่นเกษตร* 44(3): 399-408.
- AOSA. 1983. *Seed Vigor Testing Handbook*. Ithaca: Association of Official Seed Analysts.
- Chowdhury, F. M., Halim, M. A., Hossain, F., and Akhtar, N. 2018. Effects of sodium chloride on germination and seedling growth of Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Biological Sciences* 7(1): 35-44.
- Delouche, J. C., and Baskin, C. C. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology* 1: 427-452.
- Gawande, M., Mohapatra, S. C., and Johnson, W. H. 1980. Effect of seed size and pelletization on tobacco seed germination under varying temperature regimes. *Tobacco Science* 24: 49-52.
- Hill, H. J. 1999. *Advances in Seed Technology: Original of New seeds*. Binghamton: The Haworth Press, Inc.
- ISTA. 2013. *International Rules for Seed Testing*. Bassersdorf: International Seed Testing Association.
- Luan, Z., Xiao, M., Zhou, D., Zhang, H., Tian, Y., Wu, Y., Guan, B., and Song, Y. 2014. Effects of salinity, temperature, and polyethylene glycol on the seed germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *The Scientific World Journal* 2014: 1-9.
- Manning, D. A. C. 2010. Mineral sources of potassium for plant nutrition. *Agronomy for Sustainable Development* 30: 281-294.
- McDonald, M. B. 1999. Seed deterioration: Physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology* 27: 177-237.
- Saint-Gobain Formula. 2021. The benefits of calcium sulfate use in soil & agriculture. <http://goo.gl/E7OI27>. (1 May 2021).
- Schachtman, D. P., Reid, R. J., and Ayling, S. M. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology* 116: 447-453.
- Sharma, H. K. 2018. Carrots production, processing, and nutritional quality. In *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing, Second Edition*, M. Siddiq, and Uebersax, M. A., eds. pp. 589-608. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.
- Sivanesan, I., Son, M. S., Lim, C. S., and Jeong, B. R. 2011. Effect of soaking of seeds in potassium silicate and uniconazole on germination and seedling growth of tomato cultivars, Seogeon and Seokwang. *African Journal of Biotechnology* 10(35): 6743-6749.
- Smith, A. E., and Miller, R. 1987. Seed pellets for improved seed distribution of small seeded forages crops. *Journal of Seed Technology* 11: 42-51.
- Yang, W. 2018. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer on growth and seed germination of *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medikus. *Journal of Plant Nutrition* 41(5): 636-644.
- Zenk, P. 2004. Seed coatings get serious. <http://goo.gl/zpRR8j> (1 February 2004).

วันรับบทความ (Received date) : 5 ส.ค. 64

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 10 พ.ย. 64

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 9 พ.ค. 65

ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินร่วนและดินทรายใช้ปลูกข้าว อำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่นโดยใช้ธรณีสถิติ

Spatial Variability of Soil Organic Matter Content in Paddy Loamy and Sandy Soils in Amphoe Phra Yuen, Khon Kaen Province Thailand Using Geostatistics

พรทิพย์ โพนตุแสง¹ สุปรานี ศรีท่าบุญ² และเริงศักดิ์ กตเวทิน¹

Pornthip Phontusang¹, Supranee Sritumboon² and Roengsak Katawat¹

บทคัดย่อ

ข้อมูลความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการทำการเกษตรแบบแม่นยำ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแปรปรวนและรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินปลูกข้าวที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนและดินทราย ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้ธรณีสถิติ ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจและคัดเลือกพื้นที่ศึกษา ในอำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่น ที่มีการปลูกข้าว ในชุดดินดงยางเอน ซึ่งเป็นดินร่วน และชุดดินบ้านไผ่ ซึ่งเป็นดินทราย จำนวน 5 บริเวณ แต่ละบริเวณดำเนินการเก็บดินที่ความลึก 0-15 ซม. แบบวิธีการสุ่มในกริดขนาด 5x5 ม. ในพื้นที่ขนาด 50x50 ตร.ม. ได้จำนวนตัวอย่างดินทั้งหมด 500 ตัวอย่าง แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์วัตถุในห้องปฏิบัติการ และวิเคราะห์ความแปรปรวนและรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินโดยใช้สถิติเบื้องต้นและธรณีสถิติ ผลการศึกษาพบว่า ความแปรปรวนและรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีลักษณะแตกต่างกันแม้จะเป็นชุดดินเดียวกัน โดยระดับความแปรปรวนของปริมาณอินทรีย์วัตถุเมื่อจำแนกด้วยค่า CV% พบความแปรปรวนของชุดดินดงยางเอนอยู่ในระดับปานกลางทุกพื้นที่ (CV > 18.95-33.42%) และชุดดินบ้านไผ่อยู่ในระดับสูงทุกพื้นที่ (CV > 35.72%) สำหรับการใช้อธิบายเชิงพื้นที่ด้วยโมเดลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทั้งสองชุดดินคือโมเดล spherical และ/หรือ Gaussian ซึ่งมีค่าในระดับที่ยอมรับได้ ($R^2 > 0.600$) รูปแบบการกระจายตัวของพื้นที่ที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีการ Kriging มีความน่าเชื่อถือ (RMSPE% < 40) โดยขนาดของหย่อม (patch) ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ขึ้นอยู่กับระยะที่ข้อมูลมีความสัมพันธ์กัน (effective range) ซึ่งในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อเนื่องยาวนานจะมีความแปรปรวนเชิงพื้นที่สูงมาก จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของความแปรปรวนและความแตกต่างของรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินขึ้นอยู่กับสภาพของพื้นที่ ระยะเวลาการใช้ที่ดินและการทำกิจกรรมทางการเกษตรในพื้นที่

คำสำคัญ: อินทรีย์วัตถุ ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ธรณีสถิติ ความแปรปรวนเชิงพื้นที่

Abstract

Information on the spatial variability of soil organic matter is very useful for precision agriculture. The objective of this study was to investigate the status of spatial variability and spatial distribution patterns of soil organic matter (SOM) in paddy soils with loamy and sandy textures found in northeast Thailand using geostatistics. The researchers selected 5 study sites in Phra Yuen District, Khon Kaen Province. These were the areas of Dong Yang En (loamy soil) and Ban Phai (sandy soil) soil series. The soil was collected at a depth of 0-15 cm at each site using a non-aligned stratified sampling method in a 5x5 m grid in an area of 50x50 m². A total of 500 soil samples were analyzed for organic matter content in the laboratory. Basic statistics and geostatistics were employed to study the variability, spatial variability, and spatial distribution patterns of soil organic matter. The results showed differences in spatial variation and spatial distribution patterns of SOM among the study sites, even at sites of the same soil series. The variations in SOM based on CV% were moderate (CV > 18.95-33.42%) and high (CV > 35.72%) for the Dong Yang En and Ban Phai soil series, respectively. When geostatistics were applied, the best-fitting semivariogram models for all study sites were the Spherical and/or Gaussian models, and judging by R^2 values

¹ สาขาวิชาปฐพีศาสตร์และสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

¹ Department of Soil Science and Environment, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Muang Khon Kaen, Khon Kaen, 40002

² สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 กรมพัฒนาที่ดิน จังหวัดขอนแก่น อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000

² Land Development Office 5, Land development department, Muang Khon Kaen, Khon Kaen, 40000

*Corresponding author, Email: porntp@kku.ac.th

(> 0.600), the models were good enough for the next step - spatial interpolation. The spatial distribution pattern calculated from the Kriging interpolation was reliable (RMSPE% < 40) as the patch of soil organic matter is upon on the effective range between a sample point. Thus, long continuous areas of cultivation had a higher variation. The result also indicated that differences in the spatial variability and spatial distribution patterns of soil organic matter varied according to the landscape, length of time farmed, and agricultural activities at each site.

Keywords: soil organic matter, fertility level, geostatistics, spatial variability

คำนำ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกข้าว คิดเป็นร้อยละ 60.59 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) หากใช้ต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ จะก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของดิน และเกิดปัญหาหลายประการตามมา (Khaledian et al., 2016; Bogunovic et al., 2017) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter, SOM) เป็นดัชนีบ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์ของดิน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุมีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน ช่วยปรับโครงสร้างของดิน ช่วยให้การอุ้มน้ำ การระบายอากาศของดินดีขึ้น เพิ่มความสามารถในการดูดซับและแลกเปลี่ยนแคตไอออนและแอนไอออน เป็นแหล่งของธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชโดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ และนอกจากนี้ยังเป็นแหล่งพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ และสิ่งมีชีวิตในดินอีกด้วย (Bot and Benites, 2005; Gajda et al., 2016) นอกจากนี้ SOM ยังช่วยกักเก็บคาร์บอนเอาไว้ในดิน ลดการปลดปล่อยคาร์บอนสู่ชั้นบรรยากาศที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสภาพอากาศได้อีกด้วย (Whitmore et al., 2015)

การเกษตรแบบแม่นยำ (precision farming) จำเป็นต้องใช้ข้อมูลหลายด้านเข้ามาประกอบการพิจารณา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้อมูลด้านการแพร่กระจายและความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของสมบัติทางกายภาพ เคมี และปริมาณธาตุอาหารในดิน เพื่อให้สามารถวางแผนการจัดการดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Bogunovic et al., 2017) ซึ่งการศึกษาความแปรปรวนโดยทั่วไปแล้วจะใช้สถิติพื้นฐาน (basic statistics) ในการอธิบายแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง และการกระจาย (central tendency) หรือความแปรปรวน (variability) อย่างไรก็ตามการอธิบายลักษณะความแปรปรวนด้วยสถิติพื้นฐานยังไม่สามารถอธิบายได้ครอบคลุมสำหรับการใช้ประโยชน์อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากทฤษฎีพื้นฐานทางสถิติ ได้กำหนดว่า ตัวแปรที่ไม่ทราบค่า (unknown population) จะต้องถูกเก็บตัวอย่างมาแบบสุ่ม (random sampling) และมีความเป็นอิสระต่อกัน แต่สำหรับตัวแปรซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น สมบัติต่าง ๆ ของดิน ค่าของตัวแปรเกิดแบบมีความต่อเนื่องสัมพันธ์กัน มีทิศทางและระยะทางเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย สาเหตุนี้การใช้สถิติพื้นฐานอธิบายความแปรปรวนของสมบัติทางเคมีของธาตุอาหารพืชในดินจึงไม่เพียงพอ ดังนั้นในการศึกษารูปแบบ และความแปรปรวนของดินจำเป็นต้องใช้เทคนิคทางธรณีสถิติ (geostatistics) ในการวิเคราะห์เพื่ออธิบายลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของสมบัติดังกล่าว (Oliver and Webster, 2014) นักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาความแปรปรวนของสมบัติทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับธาตุอาหารพืชในดินโดยใช้ธรณีสถิติ เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil pH) อินทรีย์คาร์บอนในดิน (soil organic carbon, SOC) อินทรีย์วัตถุในดิน (SOM) ไนโตรเจน (nitrogen, N) ฟอสฟอรัส (phosphorus, P) โพแทสเซียม (potassium, K) และซัลเฟอร์ (sulfur, S) เป็นต้น (Bogunovic et al., 2017; Xue-song et al., 2019) ซึ่งพบว่าสมบัติเหล่านี้มีความแปรปรวนสูงมากโดยเฉพาะในพื้นที่การเกษตร และข้อมูลนี้ยังเป็นประโยชน์สำหรับใช้เป็นแนวทางในการจัดการพื้นที่ทำการเกษตร เช่น การใส่ปุ๋ยให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ (Gorai et al., 2015; Bogunovic, 2017)

ข้อมูลความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของสมบัติดินที่เกี่ยวข้องกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน เช่น ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน มีส่วนช่วยในการจัดทำแผนที่และคำอธิบายชนิด รูปแบบ และความแปรปรวนของสมบัติทางเคมีของดินในแง่ของระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการทำการเกษตรแบบแม่นยำ สามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดการการใส่ปุ๋ยในพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ (Tripler et al., 2006; Santra et al., 2008; Li et al., 2016) ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแปรปรวนและรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินปลูกข้าวที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนและดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยใช้ธรณีสถิติ

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษาและการเก็บตัวอย่างดิน

ดำเนินการในพื้นที่อำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่น พิกัด 16° 18' 23" N 102° 39' 05" E มีพื้นที่ทั้งหมด 172 ตร.กม. มีสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบสูงและมีแม่น้ำชีไหลผ่านบริเวณทางทิศตะวันออก การศึกษาครั้งนี้ทำการคัดเลือกพื้นที่ที่ศึกษา

ทั้งหมด 5 บริเวณ ได้แก่ ชุดดินบ้านไผ่ (Bpi) (loamy, siliceous, isohyperthermic Arenic Paleustalfs) จำนวน 2 บริเวณ และ ชุดดินดงยางเอน (Don) (Fine-silty, mixed, active, isohyperthermic Oxyaquic (Ultic) Haplustalfs) จำนวน 3 บริเวณ นอกจากนี้ยังทำการสัมภาษณ์เกษตรกรเจ้าของพื้นที่เพื่อให้ทราบถึงกิจกรรมต่าง ๆ ที่ผ่านเข้ามาในพื้นที่ศึกษาอีกด้วย ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธีการสุ่มในกริด (stratified systematic unaligned sampling) (Campbell, 1996) ขนาด 5x5 ม. ในพื้นที่ขนาด 50x50 ตร.ม.ที่ระดับความลึก 0-15 ซม.จำนวน 100 ตัวอย่าง ในเดือนเมษายน 2562 รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 500 ตัวอย่าง (Figure 1) และวิเคราะห์หาปริมาณ OM ในห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธี wet digestion (Walkley and Black, 1934)

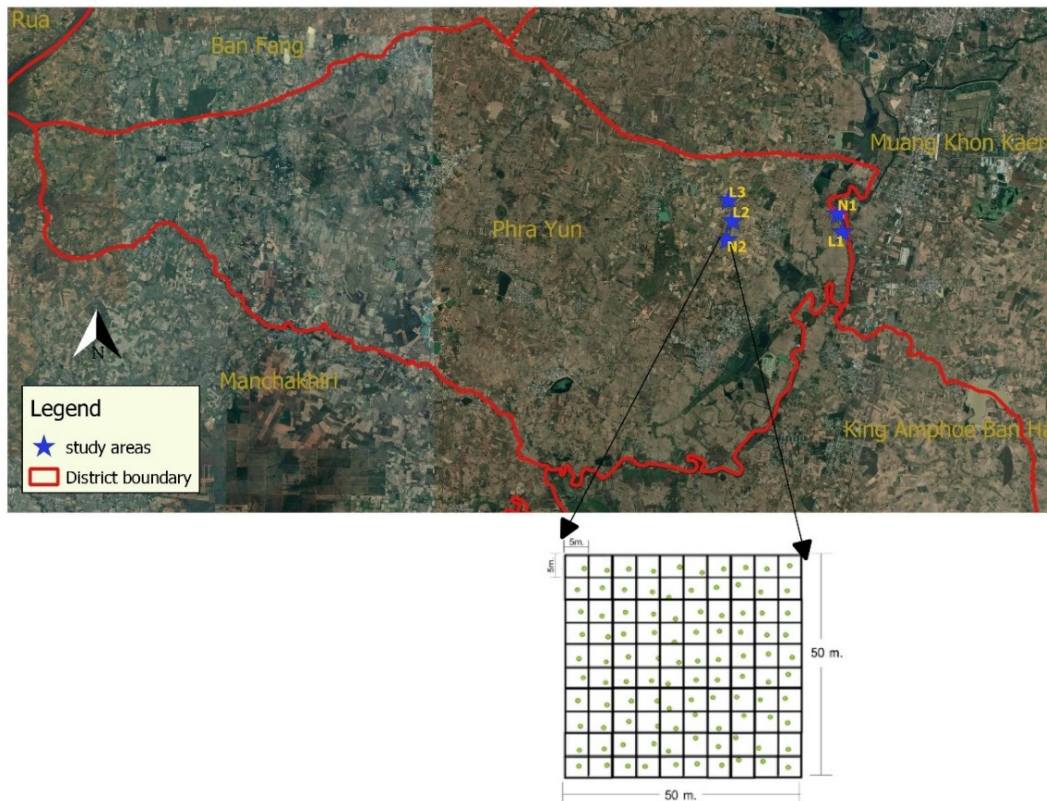


Figure 1 Stratified systematic unaligned sampling in Phra Yuen district, Khon Kaen province. N1 and N2 represent the areas for rice cultivation < 5 years and L1- L3 represent the areas for rice cultivation > 30 years in areas of Bpi and Don soil series.

การวิเคราะห์ทางสถิติพื้นฐานและธรณีสถิติ

นำข้อมูลค่าอินทรีย์วัตถุ มาวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean), ค่าต่ำสุดและสูงสุด (minimum and maximum), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD), สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (coefficient of variation, CV) และค่าความเบ้ (skewness) และพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ (normal distribution) จากค่าความเบ้ซึ่งจะต้องมีค่าอยู่ที่ -1 ถึง 1 หากพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบผิดปกติต้องปรับค่าข้อมูลโดยวิธีการแปลงค่าด้วย log ฐาน 10 (log-transformation) เพื่อให้ข้อมูลเป็นข้อมูลที่มีการกระจายตัวแบบปกติและวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางธรณีสถิติโดยใช้ เซมิแวกเรียแกรม (Figure 2) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนและระยะทางระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งสามารถบ่งบอกคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่และรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ได้ตามวิธีของ Oliver and Webster (2014) ดังสมการที่ (1)

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2, \dots \dots \dots (1)$$

โดยที่	$\hat{\gamma}(h)$	คือ ฟังก์ชันเซมิแวรีโอแกรม
	$Z(x_i)$	คือ ค่าของตัวแปรที่ตำแหน่ง x_i
	$x_i + h$	คือ ค่าของตัวแปรที่ตำแหน่งของข้อมูลตัวที่สอง ซึ่งอยู่ห่างจากข้อมูล x เป็นระยะและทิศทางที่กำหนดด้วยเวกเตอร์ h
	N	คือ จำนวนคู่ของตัวอย่างทั้งหมด

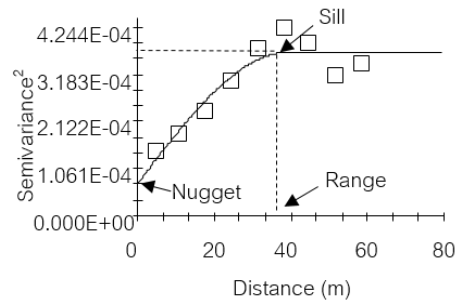


Figure 2 Semivariogram showing nugget sill and range parameters.

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางธรณีสถิติจะต้องเลือกเซมิแวรีโอแกรมโมเดลที่เหมาะสมกับข้อมูลด้วยวิธีการผสมผสานระหว่างคอมพิวเตอร์และสายตาด้วยกัน โดยพิจารณาจากค่า coefficient of determination (R^2) ซึ่งเป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความสอดคล้องของข้อมูลในการอธิบายความผันแปรของข้อมูลควรมีค่า R^2 มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 และค่า residual sum of squares (RSS) จะต้องมิต่ำน้อย ซึ่งมีโมเดลในแบบต่าง ๆ ได้แก่ exponential model, gaussian model และ spherical model เป็นต้น (Oliver and Webster, 2014)

เมื่อได้โมเดลที่เหมาะสมแล้ว จึงอ่านค่าจากเซมิแวรีโอแกรมซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก (Figure 2) คือ (1) ค่าความแปรปรวนนุกเก็ต (nugget) อธิบายถึงความแปรปรวนในระยะทางที่สั้นที่สุด บ่งบอกถึงความผิดพลาดจากการเก็บตัวอย่างที่มีระยะห่างมากเกินไปหรือความผิดพลาดจากการวิเคราะห์ (2) ค่าความแปรปรวนคงที่ (sill) อธิบายถึงความแปรปรวนสูงสุดที่ข้อมูลเริ่มหมดความสัมพันธ์ และ (3) ค่าระยะอิทธิพล (range) อธิบายถึงระยะทางที่ข้อมูลเริ่มมีความเป็นอิสระต่อกัน เมื่อได้เซมิแวรีโอแกรมโมเดลที่เหมาะสมกับข้อมูลแล้วนำค่า effective range คือค่าระยะทางที่ข้อมูลหมดความสัมพันธ์กันมาใช้ในการระบุระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างดิน โดยแต่ละเซมิแวรีโอแกรมโมเดลจะมีค่า effective range ที่แตกต่างกัน ได้แก่ spherical model, exponential model และ gaussian model จะใช้ค่า range/range of influence คูณกับค่าคงที่คือ 1, 3 และ 1.732 ตามลำดับ (Phontusang, 2016) ซึ่ง Sumner (2000) และ IT Department (2001) เสนอว่า ระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมควรมีระยะ $\frac{1}{4}$ ถึง $\frac{1}{2}$ ของระยะ effective range นอกจากนี้การจำแนกระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่สามารถจำแนกได้จากสัดส่วน nugget/sill ตามเกณฑ์ของ Oliver and Webster (2014) แบ่งเป็น 4 ระดับ คือ สูง (< 0.25) ปานกลาง ($0.25 - 0.75$) ต่ำ (> 0.75) และไม่พบความสัมพันธ์ ($= 1$) ค่า nugget sill และ range จากเซมิแวรีโอแกรมโมเดลที่เหมาะสมจะถูกใช้ในการประมาณค่าในช่วง (interpolation) ด้วยวิธีการ kriging แบบ ordinary kriging (Oliver and Webster, 2014) เพื่อให้ได้แผนที่แสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่าอินทรีย์วัตถุในดิน

การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่

ตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่โดยใช้วิธีการ cross-validation แบบ leave-one-out โดยพิจารณาจากค่าทางสถิติ ได้แก่ mean prediction error (MPE) ซึ่งเป็นดัชนีวัดระดับความเอนเอียง (bias) ของข้อมูล ควรมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และ root mean square prediction error (RMSPE) ซึ่งเป็นดัชนีวัดความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีการ ordinary kriging ซึ่งควรมีค่าน้อยที่สุด (Yao et al., 2014)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ระดับและความแปรปรวนของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

จาก Table 1 แสดงความแปรปรวนของอินทรีย์วัตถุในดินโดยใช้สถิติเบื้องต้น เมื่อจำแนกตามค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของอินทรีย์วัตถุในพื้นที่ศึกษาทั้งสองชุดดิน จากเกณฑ์การจำแนกของกองสำรวจและจำแนกดิน (2543) โดยทั่วไปในพื้นที่ศึกษาทั้ง 5 บริเวณมีระดับอินทรีย์วัตถุในระดับต่ำจนถึงค่อนข้างสูง ($OM = 0.05-2.87\%$) โดยเฉพาะในชุดดินดงยางเอน (Don) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินระดับต่ำจนถึงค่อนข้างสูง ($OM = 0.25-2.87\%$) โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์วัตถุในพื้นที่ L1 บ่งชี้อินทรีย์วัตถุในปริมาณค่อนข้างสูง (mean $OM = 1.83\%$) เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ศึกษาทั้งหมด เนื่องจากในพื้นที่นี้อยู่ใกล้กับแม่น้ำที่ได้รับอิทธิพลจากการทับถมของตะกอนน้ำพา รองลงมาคือในพื้นที่ N1 และ L2 ตามลำดับ โดยในพื้นที่ N1 เป็นพื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวนมาก่อนแต่ถูกปรับพื้นที่เพื่อทำการเกษตรโดยการเผาเศษพืช จึงทำให้มีค่าอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าพื้นที่ L1 แต่สูงกว่าพื้นที่ L2 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตรมาเป็นเวลานานมากกว่า 30 ปี สำหรับชุดดินบ้านไผ่ (Bpi) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ($OM = 0.05-1.99\%$) ในพื้นที่ L3 พบค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงกว่าในพื้นที่ N2 (Table 1) เนื่องจากในพื้นที่ N2 มีการเผาเศษพืชในพื้นที่ก่อนจะดำเนินการเก็บตัวอย่าง สำหรับการจำแนกระดับความแปรปรวนของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเมื่อจำแนกตามเกณฑ์ของ Sumner (2000) พบว่าชุดดินดงยางเอนและชุดดินบ้านไผ่มีระดับความแปรปรวนของปริมาณอินทรีย์วัตถุสอดคล้องกันในทุกพื้นที่ โดยชุดดินดงยางเอนมีระดับความแปรปรวนของปริมาณอินทรีย์วัตถุระดับปานกลาง ($CV = 18.95-33.42\%$) ส่วนชุดดินบ้านไผ่มีความแปรปรวนระดับสูง ($CV > 35.72\%$) สำหรับค่าความเบ้ (skewness) ของชุดข้อมูลทั้งหมดมีการกระจายตัวเป็นปกติ (skewness อยู่ระหว่าง -1 ถึง 1) จึงไม่ต้องการแปลงฐานข้อมูลด้วย log-transformation

Table 1 Showing variation of soil organic matter in 5 study sites using basic statistics.

Study site ¹	Soil series	Min (OM%)	Max (OM%)	Mean (OM%)	Status ²	SD	CV (%)	Variation class ³	Skewness
N1	Don	0.65	2.12	1.26	Low-Moderate	0.3	23.77	Moderate	0.44
L1		1.01	2.87	1.83	Rather low-Rather high	0.35	18.95	Moderate	0.99
L2		0.25	1.43	0.59	Low-Rather low	0.20	33.42	Moderate	0.9
L3	Bpi	0.26	1.99	1.11	Low-Moderate	0.40	35.72	High	-0.14
N2		0.05	1.81	0.56	Low-Moderate	0.33	58.19	High	0.31

¹ N1 and N2 represent the areas for rice cultivation < 5 years and L1- L3 represent the areas for rice cultivation > 30 years in areas of Bpi and Don soil series.

² Classified based on Soil Resources Survey and Research Division, Land Development Department (2005).

³ Classified based on Sumner (2000).

ความแปรปรวนเชิงพื้นที่และรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่าอินทรีย์วัตถุในดิน

จากกราฟเซมิแวกเรียแกรมและค่า nugget sill range ของแต่ละพื้นที่ศึกษา (Figure 3 และ Table 2) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของอินทรีย์วัตถุในดินกับระยะทางระหว่างจุดเก็บตัวอย่างดินพบว่า โมเดลที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษาความแปรปรวนของอินทรีย์วัตถุในดินร่วนและดินทรายในพื้นที่ศึกษา คือ gaussian และ spherical models มีค่า $R^2 > 0.600$ ซึ่งเหมาะสมสำหรับการประมาณค่าด้วยวิธีการ kriging interpolation โดยในชุดดินดงยางเอนซึ่งเป็นดินร่วนปนทรายแบ่ง พบโมเดลที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษาความแปรปรวนของอินทรีย์วัตถุในดินคือ gaussian และ spherical ($R^2 = 0.600-0.960$) สำหรับชุดดินบ้านไผ่ซึ่งเป็นดินทรายปนดินร่วน พบว่าโมเดลที่เหมาะสมที่สุดคือ spherical model ($R^2 = 0.818-0.894$) ค่า nugget/sill บ่งชี้ระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่เมื่อจำแนกตามเกณฑ์ของ Oliver and Webster (2014) พบว่าในชุดดินดงยางเอนมีระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่ตั้งแต่ระดับปานกลางถึงสูง (nugget/sill = 0.01-0.47) ในขณะที่ชุดดินบ้านไผ่มีระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่สูงสอดคล้องกันในทุกพื้นที่ศึกษา (nugget/sill = 0.04-0.14) สำหรับค่า effective range หรือระยะทางที่ข้อมูลความแปรปรวนของอินทรีย์วัตถุในดินไม่มีความสัมพันธ์กัน จากการศึกษานี้พบว่าในพื้นที่ชุดดินดงยางเอนมีระยะทางที่ข้อมูลความแปรปรวนของอินทรีย์วัตถุในดินไม่มีความสัมพันธ์กันอีกต่อไปอยู่ระหว่าง 12-414 เมตร และในชุด

ดินบ้านไผ่มีระยะระหว่าง 39-42 เมตร ดังนั้นความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของดินทรายใช้ปลูกข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีความเป็นไปได้ตั้งแต่ระดับต่ำจนถึงสูง ดังนั้นจากรายงานของ Sumner (2000) และ IT Department (2001) เกี่ยวกับระยะห่างของจุดเก็บตัวอย่างที่เหมาะสม คือ 3 เมตร ในกรณีที่พื้นที่ได้รับการตรวจสอบข้อมูลแล้วมีระดับความแปรปรวนในพื้นที่สูง ส่วนในกรณีพื้นที่ที่ข้อมูลมีระดับความแปรปรวนในพื้นที่ต่ำสามารถเก็บตัวอย่างดินที่มีระยะห่างกันถึง 207 เมตร

จากการจำแนกรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่โดยอ้างอิงความสัมพันธ์ของค่า nugget/sill และ range โดยใช้วิธีการ kriging interpolation เพื่อแสดงรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินของแต่ละพื้นที่ศึกษา พบว่ารูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจะมีลักษณะเป็นหย่อม ๆ (patches) แตกต่างกันไปตามสภาพของพื้นที่ ขนาดของ patch จะผันแปรไปตามระยะ effective range ที่พบในแต่ละพื้นที่ศึกษา (Figure 3)

Table 2 Showing semivariogram parameters of soil organic matter in different 5 study sites using geostatistics approach.

Study site ¹	Soil series	Model	Nugget (OM% ²)	Sill (OM% ²)	Range (m)	Effective range (m)	¼ - ½ range of influence	Nugget /Sill	Spatial dependence class ²	R ²
N1		Gaussian	0.064	0.13	65.98	114.27	28.56-57.13	0.47	Moderate	0.900
L1	Don	Gaussian	0.040	2.09	239.02	413.98	103.49-206.99	0.01	Strong	0.960
L2		Spherical	0.001	0.03	12.44	12.44	3.11-6.22	0.02	Strong	0.622
L3	Bpi	Spherical	0.009	0.22	41.59	41.59	10.39-20.79	0.04	Strong	0.818
N2		Spherical	0.019	0.13	39.70	39.70	9.92-19.85	0.14	Strong	0.894

¹ N1 and N2 represent the areas for rice cultivation < 5 years and L1- L3 represent the areas for rice cultivation > 30 years in areas of Bpi and Don soil series.

² Classified based on Oliver and Webster (2014).

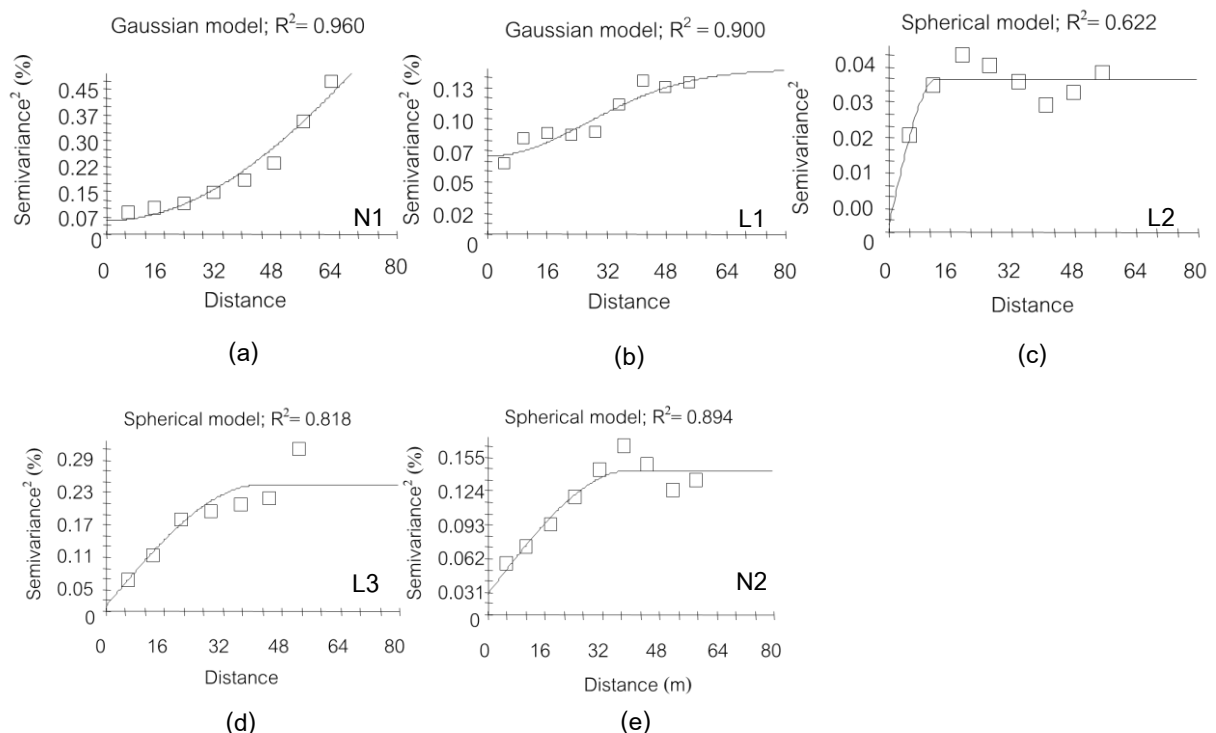


Figure 3 Semivariogram showing relationship between semivariance and distance of different 5 study sites. (a)-(c) showing sites N1, L1 and L2, respectively and (d)-(e) showing sites N2 and L3, respectively.

จากการศึกษาระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินในพื้นที่ศึกษาทั้ง 5 แห่ง พบว่า ระยะเวลาในการทำกิจกรรมการใช้ที่ดินเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่สูงขึ้น ซึ่งจากการสัมภาษณ์เกษตรกรเจ้าของพื้นที่พบว่าในพื้นที่ชุดดินดงยางเอน ในพื้นที่ N1 เป็นพื้นที่ที่ยังไม่มีกิจกรรมใด ๆ ทางเกษตร ระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่ที่พบในพื้นที่อยู่ในระดับปานกลาง ($nugget/sill = 0.47$) สำหรับพื้นที่ L1 และ L2 มีการใช้พื้นที่ปลูกข้าวต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานมากกว่า 30 ปี ทำให้ในพื้นที่นี้มีการเกษตรกรรม เช่น การไถพรวนและการเก็บเกี่ยวผลผลิตด้วยเครื่องจักร การใส่ปุ๋ยเคมี การใช้สารเคมีทางการเกษตร หรือการเผาเศษพืช (ถ้ามี) ส่งผลให้ระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่สูงมากกว่าพื้นที่ N1 ($nugget/sill < 0.04$) อย่างไรก็ตามในพื้นที่ L2 มีระยะ effective range สั้นที่สุด จึงมีขนาด patch เล็กกระจายทั่วพื้นที่ รองลงมาคือ พื้นที่ N1 และ L1 ตามลำดับ (Figure 3 (a)-(c))

ในขณะที่ชุดดินบ้านไผ่ ระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของทั้งสองพื้นที่มีระดับสูงเหมือนกัน แต่ค่า $nugget/sill$ ในพื้นที่ N2 (0.14) สูงกว่าในพื้นที่ L3 (0.02) เล็กน้อย เนื่องจากในพื้นที่ N2 มีการใช้พื้นที่ปลูกข้าวต่อเนื่องประมาณ 5 ปี ซึ่งน้อยกว่าพื้นที่ L3 ที่มีการใช้พื้นที่ปลูกข้าวต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานกว่า 30 ปี ระยะ effective range ของทั้งสองพื้นที่ใกล้เคียงกัน รูปแบบการกระจายตัวจึงมีลักษณะเป็น patch ขนาดใหญ่ ดังแสดงใน Figure 3(d) และ 3(e) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Behera et al. (2018) และ Gao et al. (2019) รายงานว่า ความแตกต่างของระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และการกระจายตัวของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินในแต่ละพื้นที่ศึกษานี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในและภายนอกของพื้นที่นั้น ๆ โดยปัจจัยภายใน ได้แก่ วัตถุดิบกำเนิดดิน ชนิดของดิน ชุดดิน และลักษณะภูมิประเทศ เป็นต้น ส่วนปัจจัยภายนอก ได้แก่ ประเภทของการใช้ที่ดิน ระยะเวลาการใช้ที่ดิน และกิจกรรมทางการเกษตร

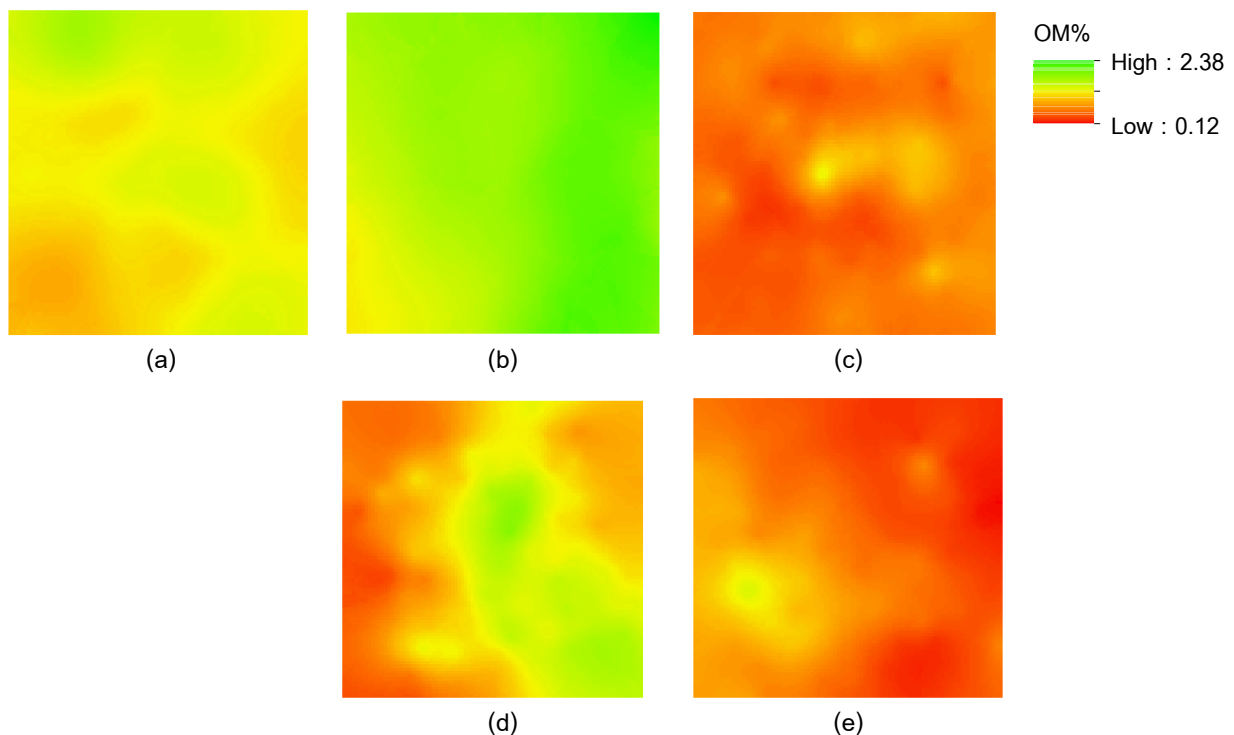


Figure 4 Showing the spatial distribution pattern generated from Kriging interpolation of different 5 study sites. (a)-(c) showing sites N1, L1 and L2, respectively and (d)-(e) showing sites N2 and L3, respectively.

ความถูกต้องของแผนที่แสดงระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

จาก Table 3 แสดงค่าความความผิดพลาดของแผนที่ด้วยวิธีการ cross-validation แบบ leave-one-out และคำนวณค่าความผิดพลาดเปรียบเทียบ ระหว่างค่าอินทรีย์วัตถุที่ได้จากพื้นที่จริง และ ค่าที่พยากรณ์โดยใช้ kriging interpolation เพื่อคำนวณค่า MPE% และ RMSPE% ซึ่งบ่งบอกถึงความเอนเอียงและความน่าเชื่อถือของแผนที่แสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่าอินทรีย์วัตถุในพื้นที่ศึกษา พบว่า ระดับความเอนเอียงของข้อมูล (bias) บ่งชี้จากค่า MPE และ MPE% โดยทั่วไป

ในพื้นที่ศึกษาทุกแห่งมีค่าพยากรณ์ที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีการ ordinary kriging ต่ำกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จริง (under-estimated) ซึ่งมีค่า MPE% < 0.32 และความผิดพลาดของแผนที่ที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีการ kriging เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลในพื้นที่จริง บ่งชี้จากค่า RMSPE และ RMSPE% ซึ่งเป็นที่น่าเชื่อถือ มีค่า RMSPE% < 40% ซึ่งค่า RMSPE% ที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่จะสัมพันธ์กันตามระดับความแปรปรวนของแต่ละพื้นที่นั้น ๆ

Table 3 Mapping accuracy of soil organic matter generated from kriging interpolation.

Study site ¹	MPE ²	MPE% ²	RMSPE ³	RMSPE% ³
N1	0.00	0.00	0.26	20.44
N2	0.00	0.32	0.22	39.03
L1	0.00	0.20	0.27	15.01
L2	0.00	0.20	0.15	25.27
L3	0.00	0.31	0.20	17.84

¹ N1 and N2 represent the areas for rice cultivation < 5 years and L1- L3 represent the areas for rice cultivation > 30 years in areas of Bpi and Don soil series.

² MPE = Mean Prediction Error / MPE% = Normalize Mean Prediction Error.

³ RMSPE = Root Mean Square Prediction Error / RMSPE% = Normalize Root Mean Square Prediction Error.

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาความแปรปรวนและรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินในพื้นที่ศึกษาโดยใช้ธรณีสัณติ ในพื้นที่ อ.พระยืน จ.ขอนแก่น โดยใช้สถิติเบื้องต้นและธรณีสัณติ พบว่า ระดับของปริมาณอินทรีย์วัตถุมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยปริมาณของค่าอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยในพื้นที่ชุดดินดงยางเอนที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วน อยู่ในระดับต่ำจนถึงปานกลาง ระดับความแปรปรวนเมื่อจำแนกด้วยค่า CV อยู่ในระดับปานกลางทุกพื้นที่ (CV = >18.95-33.42%) ในขณะที่ชุดดินบ้านไผ่ที่มีเนื้อดินเป็นดินทรายมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยอยู่ในระดับต่ำจนถึงค่อนข้างต่ำ ระดับความแปรปรวนเมื่อจำแนกด้วยค่า CV อยู่ในระดับสูง (CV >35.72%)

สำหรับการศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ในพื้นที่ โดยใช้เซมิแวกเรียแกรมและประมาณค่าในช่วงแบบ kriging ของวิธีการทางธรณีสัณติ พบว่า ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของอินทรีย์วัตถุแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ ระยะเวลาและกิจกรรมการใช้ที่ดินในแต่ละพื้นที่ศึกษา โดยในชุดดินดงยางเอน มีความเหมาะสมกับเซมิแวกเรียแกรมโมเดลแบบ spherical หรือ gaussian ($R^2=0.600-0.960$) สำหรับชุดดินบ้านไผ่เหมาะสมกับเซมิแวกเรียแกรมโมเดลแบบ spherical ($R^2>0.818$) นอกจากนี้เมื่อจำแนกระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่ตามค่า nugget/sill และ effective range ที่ได้จากเซมิแวกเรียแกรม และจากการประมาณค่าในช่วงแบบ kriging ของทั้งสองชุดดินมีความแตกต่างกัน จึงส่งผลให้ขนาดของ patch แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่

จากการใช้ธรณีสัณติเพื่อศึกษารูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุนี้ เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้ได้ข้อมูลสภาพพื้นที่ และใช้เป็นแนวทางในการจัดทำคำอธิบายชนิด รูปแบบ และความแปรปรวนของระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งข้อมูลนี้เป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนการจัดการแบบแม่นยำในพื้นที่เสื่อมโทรมจากการทำการเกษตรได้ และในอนาคตควรนำข้อมูลที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ หรือ โดรน (drone) ที่มีระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) สำหรับหว่านปุ๋ย สารบำรุงดิน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำเกษตรให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการพัฒนานักวิจัยใหม่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปีงบประมาณ 2562

เอกสารอ้างอิง

- กองสำรวจและจำแนกดิน. 2543. *วิธีคาดคะเนระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยการประเมินผลวิเคราะห์ดิน*. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาที่ดิน.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2564*. กรุงเทพฯ : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.
- Behera, S. K., Mathur, R. K., Shukla, A. K., Suresh, K., and Prakash, C. 2018. Spatial variability of soil properties and delineation of soil management zones of oil palm plantations grown in a hot and humid tropical region of southern India. *Catena* 165: 251-259.
- Bogunovic, I., Pereira, P., and Brevik, E. 2017. Spatial distribution of soil chemical properties in an organic farm in Croatia. *Science of the Total Environment* 584-585: 535-545.
- Bot, A., and Benites, J. 2005. *The importance of soil organic matter – Key to drought-resistant food and production*. Rome: Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations.
- Campbell, J.B. 1996. *Introduction to Remote Sensing*. New York: The Guilford Press.
- Gajda, M. A., Czyż, A. E., and Dexter, R. A. 2016. Effects of longterm use of different farming systems on some physical, chemical and microbiological parameters of soil quality. *International Agrophysics* 30: 165-172.
- Gao, X., Xiao, Y., Deng, L., Qi-quan, L., Chang-quan, W., Bing, L., Ou-ping, D., and Min, Z. 2019. Spatial variability of soil total nitrogen, phosphorus and potassium in Renshou County of Sichuan Basin, China. *Journal of Integrative Agriculture* 18: 279-289.
- Gorai T., Ahmed, N., Patra, A., Sahoo, R., Sarangi, A., Meena, M., and Sharma, R. 2015. Site Specific Nutrient Management of an Intensively Cultivated Farm Using Geostatistical Approach. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences* 87(2): 477-488.
- IT Department. 2001. *ILWIS 3.0 Academic User's Guide*. Enschede: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.
- Khaledian, Y., Pereira, P., Brevik, E., Pundyte, N., and Paliulis, D. 2016. The influence of organic carbon and pH on heavy metals, potassium and magnesium in Lithuanian podzols. *Land Degradation Development* 28(1): 345-354.
- Oliver, M., and Webster, R. 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena* 113: 56-69.
- Phontusang, P. 2016. *Improving Salt-affected Soils Mapping in Northeast Thailand*. Doctoral Dissertations. Khon Kaen: Khon Kaen University.
- Santra, P., Chopra, U. K., and Chakraborty, D. 2008. Spatial variability of soil properties and its application in predicting surface map of hydraulic parameters in an agricultural farm. *Current Science* 95(7): 937-945.
- Sumner, M. E. 2000. *Handbook of Soil Science*. Washington D.C.: CRC Press.
- Tripler, C., Kaushal, S., Likens, G., and Walter, M. 2006. Patterns in potassium dynamics in forest ecosystems. *Ecology Letters* 9: 451-466.
- Walkley, A., and Black, I. A. 1934. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-37.
- Whitmore, A. P., Kirk, G. J. D., and Rawlins, B. G. 2015. Technologies for increasing carbon storage in soil to mitigate climate change. *Soil Use Management* 31: 62-71.
- Xue-song, G., Yi, X., Liang-ji, D., Qi-quan, L., Chang-quan, W. Bing, L., Ou-ping, D., and Min, Z. 2019. Spatial variability of soil total nitrogen, phosphorus and potassium in Renshou County of Sichuan Basin, China. *Journal of Integrative Agriculture* 18(2): 279-289.
- Yao, R. J., Yang, J. S., Gao, P., Shao, H. B., Liu, G. M., and Yu, S. P. 2014. Comparison of statistical prediction methods for characterizing the spatial variability of apparent electrical conductivity in coastal salt-affected farmland. *Environmental earth sciences* 71(1): 233-243.

วันรับบทความ (Received date) : 21 ธ.ค. 64

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 25 มี.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 9 พ.ค. 65

ผลของการสกัดแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยวิธีการแช่น้ำและการใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์

Effect of Extraction on Anthocyanin from Black Glutinous Rice Using Soaking Method and Pulsed Electric Field

อรัทัย บุญทะวงศ์^{1*} และอุบลรัตน์ พรหมพั่ง¹
Orathai Bunthawong^{1*} and Ubonrat Phromfung¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำ 2 วิธี คือ วิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้นต่างกัน คือ อุณหภูมิห้อง (27 ± 1), 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส แช่นาน 8 ชั่วโมง และวิธีการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ที่ความเข้มของสนามไฟฟ้าเท่ากับ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร นาน 10, 15 และ 20 นาที ใช้อัตราส่วนน้ำหนักของข้าวเหนียวดำต่อน้ำเท่ากับ 1:5 พบว่า วิธีการแช่น้ำเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการสกัดมากขึ้น มีผลให้ความเข้มข้นของสารแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้เพิ่มขึ้น โดยการแช่ข้าวเหนียวดำด้วยน้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้น 90 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ได้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 12.42 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และวิธีการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์นาน 20 นาที ได้ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 99.65 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารแอนโทไซยานินของข้าวเหนียวดำได้มากกว่าวิธีการแช่น้ำ 8 เท่า และใช้เวลาน้อยกว่า 12 เท่า

คำสำคัญ: แอนโทไซยานิน ข้าวเหนียวดำ สนามไฟฟ้าแบบพัลส์

Abstract

The aim of this study was to compare two extraction methods of anthocyanin from black glutinous rice. The first extraction method was soaking in water at room temperature (27 ± 1), 50, 60, 70, 80 and 90 OC for 8 hours, and the second extraction method involved the use of pulsed electric field (PEF) at 3 kV/cm for 10, 15 and 20 minutes. The weight ratio of black glutinous rice to water used was 1:5. It was found that when the extraction temperature and the extraction time were increased, the total anthocyanin concentration increased. The highest concentrations of total anthocyanin in the extracts from black glutinous rice that were seen for the water soaking method at 90 OC for 4 hours, and for the PEF method for 20 minutes were 12.42 and 99.65 mg/100mL, respectively. In conclusion, the comparison of the two methods of extracting anthocyanin from black glutinous rice revealed that the PEF total anthocyanin extraction method rice was 8 times more efficient than the water soaking method and was 12 times faster.

Keywords: anthocyanin, black glutinous rice, pulsed electric field

คำนำ

ข้าวเหนียวดำหรือข้าวดำ (black glutinous rice, purple glutinous rice, purple rice) มีสารสีโปรแอนโทไซยานินและสารแอนโทไซยานินในปริมาณสูงกว่าข้าวขาว 8-16 เท่า สารสีต่าง ๆ ของข้าวดำจะมีอยู่ในบริเวณเยื่อหุ้มของเมล็ดข้าว โดยสารแอนโทไซยานินจะมีปริมาณมากเมื่อเมล็ดข้าวแก่เต็มที่ (ดำเนิน กาละดี, 2554) สารแอนโทไซยานินเป็นสารให้สีในอาหาร (Chun-Ying et al., 2014) และมีความสามารถในการละลายน้ำ และมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ ช่วยป้องกันการเกิดโรคเมตาบอลิก การเกิดไขมันอุดตันในหลอดเลือด การเกิดโรคหัวใจ และช่วยบรรเทาภาวะน้ำตาลในเลือดสูง (Hou, 2003; Katsube et al., 2003; Bagchi et al., 2004) โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสารแอนโทไซยานิน ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ชนิดของตัวถูกละลาย และอัตราส่วนของตัวถูกละลาย เป็นต้น (Anderson and Markham,

¹ สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹ Division of Agronomy, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, San Sai, Chiang Mai, 50290, Thailand

* Corresponding author, E-mail: jakrapong_ks@mju.ac.th

2006; Yang and Zhai, 2010) จากกระบวนการผลิตข้าวแต่น้ำข้าวเก่า ซึ่งได้จากการนำข้าวเก่ามาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องนาน 8 ชั่วโมง เพื่อสกัดสีม่วงจากข้าวเก่าออกมา จากนั้นจึงนำน้ำแช่ข้าวเก่าที่มีสีม่วงไปแช่ข้าวเหนียวขัดขาวเพื่อให้ติดสีม่วง และผลิตเป็นข้าวแต่น้ำข้าวเก่าต่อไป โดยข้าวเก่าหรือข้าวเหนียวดำที่ผ่านการแช่น้ำแล้ว ยังคงมีสีม่วงเหลืออยู่ในเมล็ดข้าว ดังนั้นจึงควรศึกษาวิธีการสกัดวิธีอื่น เพื่อสกัดสีม่วงหรือสารแอนโทไซยานินออกจากข้าวเหนียวดำให้ได้มากที่สุด โดยการสกัดด้วยไฟฟ้าในรูปของสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ (pulsed electric field) เป็นเทคนิคหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้สกัดสารแอนโทไซยานินได้ (รวินิภา ศรีมูล และสมยศ สันติมาลัย, 2561) ซึ่งวิธีนี้เป็นเทคนิคการใช้กระแสไฟฟ้าที่มีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูง มีลักษณะเป็นจังหวะ (pulse) โดยผ่านขั้วอิเล็กโทรดในช่วงเวลาสั้น ๆ เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ เมื่อมีการสะสมประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์จนทำให้มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้ามากกว่าค่าความเข้มสนามไฟฟ้าวิกฤต จึงส่งผลทำให้เกิดการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ (ข้าวจันทร์ กันทะลา และคณะ, 2560) ทำให้สามารถสกัดสารต่าง ๆ ที่ยึดติดกับโครงสร้างของเซลล์ได้ดี ข้อดีของวิธีนี้คือ ไม่ใช้ความร้อนในการสกัด และไม่ทำให้สูญเสียคุณภาพหรือคุณค่าสารอาหาร (จุฑาทิพย์ ศรีทาเกิด และคณะ, 2559; Praporscic et al., 2007; Grimi et al., 2011)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยวิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งเป็นการประยุกต์จากวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ เพื่อคัดเลือกวิธีที่สกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำได้มากที่สุด และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการผลิตข้าวแต่น้ำข้าวเก่าหรือผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการเสริมสารแอนโทไซยานินด้วยวิธีการสกัดจากข้าวเหนียวดำต่อไป

วิธีการศึกษา

ศึกษาการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยวิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

นำข้าวเหนียวดำแช่น้ำในอัตราส่วนน้ำหนักของข้าวเหนียวดำต่อน้ำเท่ากับ 1:5 โดยเตรียมน้ำที่มีอุณหภูมิกลั่นน้ำไปแช่ข้าวเหนียวดำที่แตกต่างกัน 6 อุณหภูมิ คือ อุณหภูมิห้อง (27 ± 1), 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นนำน้ำที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันเทใส่ในข้าวเหนียวดำที่เตรียมไว้ แช่ข้าวเหนียวดำนาน 8 ชั่วโมง และสุ่มตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบคุณภาพข้าวเหนียวดำ คือ ปริมาณการดูดซึมน้ำ (water uptake) (Neher et al., 2014) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2005) และนำน้ำแช่ข้าวเหนียวดำทุก 1 ชั่วโมง วัดค่าความเข้มข้นของสารที่สกัดได้ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร และปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (Fuleki and Francis, 1968) คัดเลือกสภาวะการสกัดสารแอนโทไซยานินที่เหมาะสม เพื่อนำผลไปเปรียบเทียบวิธีการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำต่อไป

$$\text{ปริมาณการดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักของข้าวเหนียวดำหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักของข้าวเหนียวดำก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักของข้าวเหนียวดำก่อนแช่น้ำ}} \times 100 \quad (1)$$

ศึกษาการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์

ชั่งข้าวเหนียวดำกับน้ำในอัตราส่วนน้ำหนักเท่ากับ 1:5 นำไปสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ ใช้การทดลองในการสกัดแบบกะ (batch) โดยใช้ความเข้มสนามไฟฟ้า 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร และความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ โดยใช้ระยะเวลาการสกัด 10, 15 และ 20 นาที คิดเป็นจำนวนพัลส์ 600, 900 และ 1,200 พัลส์ ตามลำดับ จากนั้นตรวจสอบคุณภาพข้าวเหนียวดำ คือ ปริมาณการดูดซึมน้ำ (water uptake) (Neher et al., 2014) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2005) และนำส่วนน้ำหลังการสกัดจากข้าวเหนียวดำวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร และปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (Fuleki and Francis, 1968) คัดเลือกสภาวะการสกัดสารแอนโทไซยานินที่เหมาะสม เพื่อนำผลไปเปรียบเทียบวิธีการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) นำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ รายงานผลในรูปค่าเฉลี่ย (mean $\pm$ SD)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของการสกัดสารแอนโธไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยวิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

จากการนำข้าวเหนียวดำแช่น้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้นแตกต่างกัน 6 อุณหภูมิ ดังแสดงใน Figure 1-2 พบว่า ข้าวเหนียวดำมีปริมาณการดูดซึมน้ำ และปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการแช่นานขึ้น การแช่น้ำที่นานขึ้นทำให้เกิดการแพร่ของโมเลกุลน้ำจากบริเวณที่มีปริมาณน้ำสูงไปสู่เมล็ดข้าวเหนียวดำที่มีปริมาณน้ำต่ำได้มากขึ้น โดยในช่วง 1-4 ชั่วโมง ข้าวเหนียวดำมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และช่วงการแช่นาน 4-8 ชั่วโมง ค่าการดูดซึมน้ำและความชื้นของเมล็ดข้าวเหนียวดำไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยน้ำหลังการแช่ข้าวเหนียวดำมีค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการแช่นานขึ้น เนื่องจากระยะเวลาที่มีผลต่อการแพร่ของโมเลกุลสารแอนโธไซยานินหรือสีม่วงจากบริเวณผิวของข้าวเหนียวดำลงสู่ น้ำแช่ โดยในช่วง 1-4 ชั่วโมง ค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดในน้ำแช่ข้าวเหนียวดำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ($p \leq 0.05$) จากนั้นมีปริมาณค่อนข้างคงที่ในช่วงการแช่นาน 4-8 ชั่วโมง ($p > 0.05$) ดังแสดงใน Figure 3 และ Table 1 จากการศึกษาพบว่าน้ำที่แช่ข้าวเหนียวดำนาน 8 ชั่วโมง จะมีปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดลดลง เนื่องจากเวลาที่นานอาจมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารแอนโธไซยานิน จึงส่งผลให้มีปริมาณลดลงได้ (รัตนา ม่วงรัตน์ และคณะ, 2558; Lapornlik and Wonda, 2005) เมื่อเปรียบเทียบผลจากอุณหภูมิ น้ำที่แช่ต่อการสกัดสารแอนโธไซยานิน หากพิจารณาที่ระยะเวลาการแช่น้ำที่เท่ากัน พบว่า การแช่ข้าวเหนียวดำในน้ำอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส จะมีค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดในน้ำแช่ข้าวเหนียวดำมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อุณหภูมิที่สูงจะไปช่วยทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล และลดแรงดึงดูดของตัวทำละลาย ส่งผลให้การสกัดสารมีประสิทธิภาพมากขึ้น (รัตนา ม่วงรัตน์ และคณะ, 2558) และเมื่อพิจารณาด้านระยะเวลาการแช่ พบว่า การแช่ข้าวเหนียวดำนาน 4 ชั่วโมง จะมีค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดในน้ำแช่ข้าวเหนียวดำไม่แตกต่างกับการแช่นานมากขึ้น (5-8 ชั่วโมง) ($p > 0.05$) ดังนั้นวิธีการแช่ข้าวเหนียวดำในน้ำอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง จึงเป็นวิธีการสกัดที่เหมาะสมที่สุดของวิธีการแช่น้ำนี้

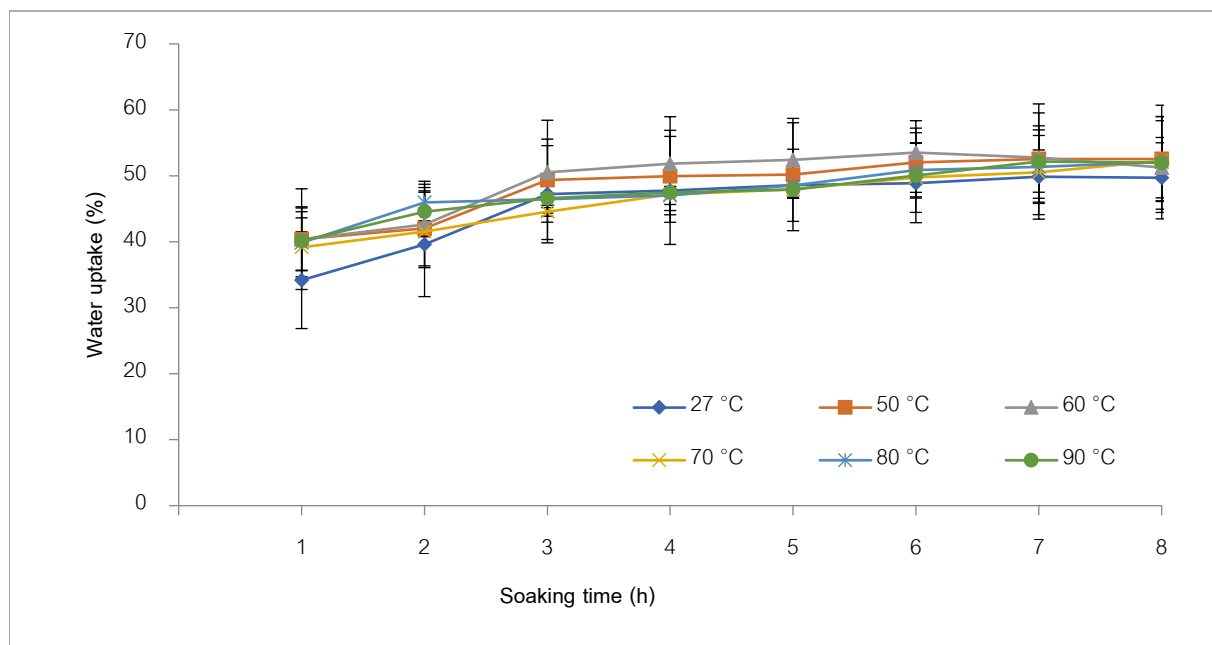


Figure 1 The water uptake of soaked black glutinous rice at the different various condition.

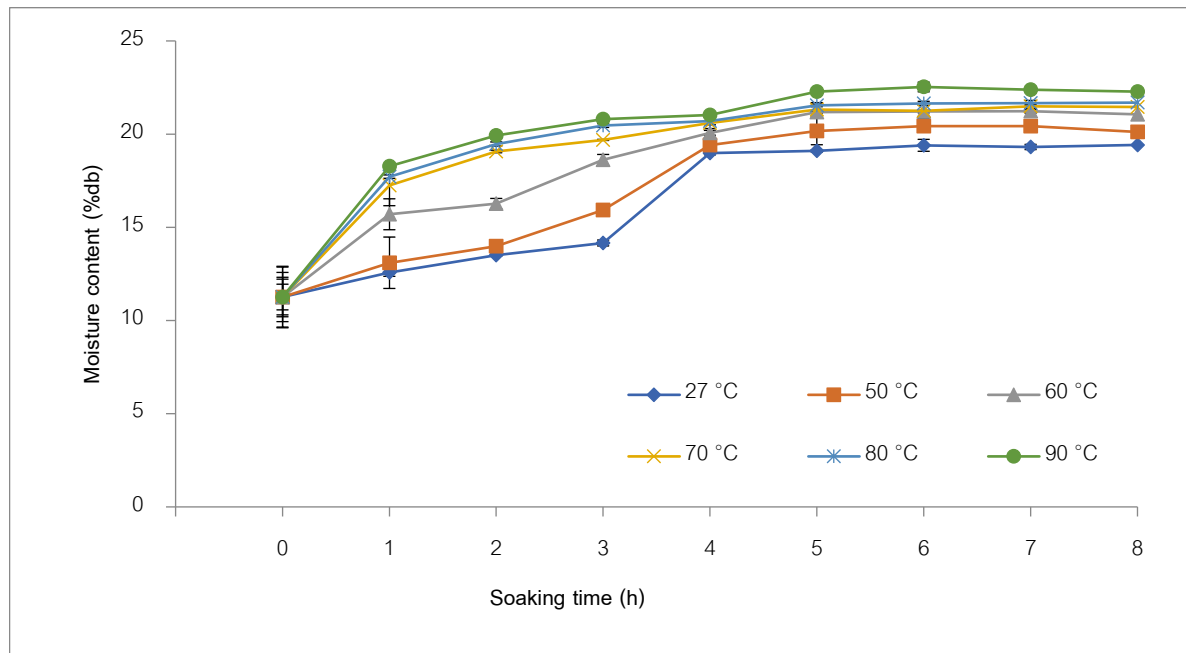


Figure 2 The moisture content of soaked black glutinous rice at the different various condition.

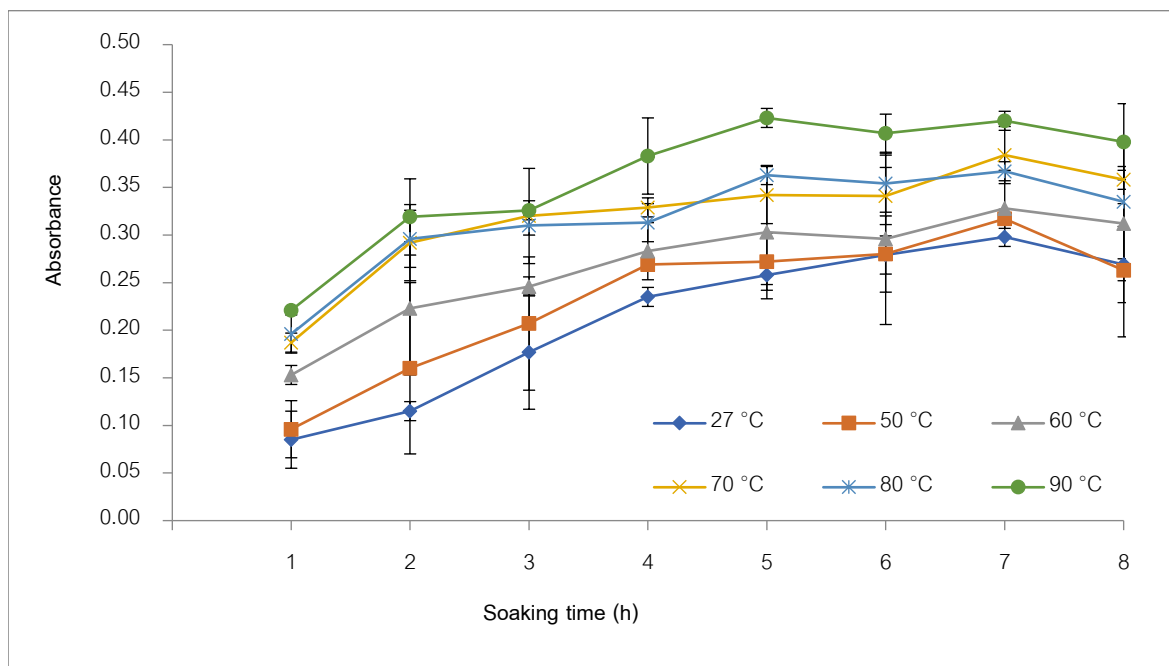


Figure 3 The absorbance of water after soaking black glutinous rice at the different various condition.

Table 1 The total anthocyanin (mg/100ml) of water after soaking black glutinous rice at the different various condition.

Soaking time (h)	Water temperature (°C)					
	27	50	60	70	80	90
1	2.75±1.00 ^{c C}	3.11±1.10 ^{c C}	4.97±0.45 ^{a B}	6.05±0.31 ^{c AB}	6.36±0.59 ^{c A}	7.15±0.02 ^{d A}
2	3.74±1.89 ^{c B}	5.18±3.06 ^{bc B}	7.22±2.32 ^{a AB}	9.47±1.43 ^{b A}	9.61±0.93 ^{b A}	10.35±1.25 ^{c A}
3	5.74±2.43 ^{bc B}	6.72±2.12 ^{abc B}	7.99±0.47 ^{a AB}	10.38±1.52 ^{ab A}	10.06±0.17 ^{ab A}	10.58±0.44 ^{bc A}
4	7.60±0.21 ^{ab E}	8.73±0.12 ^{ab DE}	9.16±0.89 ^{a CD}	10.68±0.34 ^{ab B}	10.14±0.74 ^{ab BC}	12.42±1.24 ^{ab A}
5	8.35±0.34 ^{ab C}	8.80±0.98 ^{ab C}	9.82±2.43 ^{a BC}	11.09±1.01 ^{ab B}	11.78±0.31 ^{ab AB}	13.71±0.16 ^{a A}
6	9.05±0.73 ^{a B}	9.08±1.23 ^{ab B}	9.59±2.86 ^{a B}	11.07±1.13 ^{ab AB}	11.48±0.96 ^{ab AB}	13.20±0.18 ^{a A}
7	9.65±0.11 ^{a D}	10.28±0.28 ^{a D}	10.65±1.45 ^{a CD}	12.44±1.05 ^{a AB}	11.90±0.32 ^{a BC}	13.63±0.78 ^{a A}
8	8.72±1.33 ^{ab C}	8.52±2.12 ^{ab BC}	10.13±2.09 ^{a ABC}	11.61±0.22 ^{ab AB}	10.87±1.92 ^{ab ABC}	12.91±0.17 ^{a A}

^{a-d} Means value in the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

^{A-E} Means value in the same row with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

ผลของการสกัดสารแอนโธไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์

จากการนำข้าวเหนียวดำสกัดสารแอนโธไซยานินด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ดังแสดงใน Table 2 พบว่า ข้าวเหนียวดำมีการดูดซึมน้ำ และความชื้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการสกัดที่นานขึ้น ($p > 0.05$) ส่วนค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดในน้ำแช่ข้าวเหนียวดำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการสกัดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์นาน 20 นาที มีค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดมากที่สุด ซึ่งการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์เป็นวิธีที่ช่วยทำให้เกิดการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ และปล่อยสารต่าง ๆ ออกมา (Goettel et al., 2013) และทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า electroporation หรือ pore formation คือเยื่อหุ้มเซลล์เกิดการแตกเป็นรูพรุน (pores) เล็ก ๆ มากขึ้น ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์มีลักษณะการเป็นเยื่อเลือกผ่านเพิ่มขึ้น มีการไหลของสารมากขึ้น ส่งผลให้สามารถสกัดสารต่าง ๆ ที่ยึดติดกับโครงสร้างของเซลล์ได้ดี (จุฑาทิพย์ ศรีทาเกิด, 2559; Clark, 2006) ดังนั้นการใช้เวลาสกัดที่นานจึงส่งผลให้สามารถสกัดสารออกมาได้มากขึ้น ในทางปฏิบัติจึงผู้ประกอบการอาจพิจารณาเลือกใช้การสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์นาน 10 นาที ซึ่งสกัดสารแอนโธไซยานินได้ 95.26 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ขณะที่การเพิ่มเวลาในการให้กระแสไฟฟ้านาน 20 นาที สามารถสกัดได้สารแอนโธไซยานินเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยประมาณ 4 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (99.65 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) อาจต้องมีการพิจารณาด้านความคุ้มค่ากับเวลาและค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้น

เมื่อนำวิธีการสกัดสารแอนโธไซยานินจากข้าวเหนียวดำที่ได้คัดเลือกจากสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละวิธี คือ การแช่น้ำอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง และการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์นาน 20 นาที นำมาเปรียบกับการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (27 องศาเซลเซียส) นาน 8 ชั่วโมง ซึ่งเป็นวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม ดังแสดงใน Table 3 พบว่า ข้าวเหนียวดำหลังแช่มีค่าความชื้นร้อยละ 19.42, 22.28 และ 42.27 ตามลำดับ และการแช่ข้าวเหนียวดำที่อุณหภูมิห้องนาน 8 ชั่วโมง สามารถสกัดสารแอนโธไซยานินทั้งหมดได้น้อยที่สุด (8.72 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) และการแช่ข้าวเหนียวดำในน้ำอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง สกัดสารแอนโธไซยานินทั้งหมดได้มากขึ้น (12.42 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) ส่วนการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ได้ปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดมากที่สุด (99.65 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) ซึ่งวิธีนี้เป็นการสกัดแบบไม่ใช้ความร้อนและใช้เวลาน้อย มีผลให้สารแอนโธไซยานินเกิดการสลายตัวได้น้อยกว่า จึงสามารถสกัดสารแอนโธไซยานินได้มากกว่าวิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (แบบดั้งเดิม) และการแช่ข้าวเหนียวดำในน้ำอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส ได้ 12 และ 8 เท่า ตามลำดับ และใช้เวลาน้อยกว่า 24 และ 12 เท่า ตามลำดับ

จากผลการศึกษาวิธีการสกัดสารสีม่วงหรือสารแอนโธไซยานินจากข้าวเหนียวดำ ส่งผลให้ผู้ประกอบการสามารถลดเวลาการแช่ข้าวเหนียวดำในน้ำจากเดิมใช้เวลา 8 ชั่วโมง ให้เหลือเพียง 4 ชั่วโมง ซึ่งสามารถสกัดได้สารสีม่วงหรือปริมาณสารแอนโธไซยานินได้ใกล้เคียงกัน ($p > 0.05$) และหากเปลี่ยนมาเตรียมน้ำแช่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส แช่นาน 4 ชั่วโมง จะสามารถสกัดได้สารสีม่วงหรือปริมาณสารแอนโธไซยานินได้มากกว่าวิธีเดิม และหากผู้ประกอบการสามารถพัฒนาเทคโนโลยีการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารแอนโธไซยานินจากข้าวเหนียวดำได้มากขึ้น

Table 2 The qualities of soaked black glutinous rice and water after soaking black glutinous rice by pulsed electric field at different times.

Qualities	Soaking time (min.)		
	10	15	20
Water uptake of soaked black glutinous rice (%) ^{ns}	25.23±0.60	25.95±0.57	27.20±0.71
Moisture content of soaked black glutinous rice (%) ^{ns}	38.62±0.52	40.10±0.17	42.27±0.49
The absorbance of water after soaking black glutinous rice	2.938±0.01 ^b	2.931±0.01 ^b	3.073±0.01 ^a
Total anthocyanin of water after soaking black glutinous rice (mg/100ml)	95.26±0.37 ^b	95.05±0.44 ^b	99.65±0.44 ^a

^{ns} Means with no significant difference (p>0.05).

^{a-b} Means value in the same row with different letters are significantly different (p≤0.05).

Table 3 The moisture content of soaked black glutinous rice and total anthocyanin of water after soaking black glutinous rice at the different various condition.

Method	The moisture content of soaked black glutinous rice (%)	Total anthocyanin of water after soaking black glutinous rice (mg/100ml)
Black glutinous rice before soaking	11.26±0.19	-
Soaking in water at 27°C for 8 h	19.42±0.14	8.72±1.33
Soaking in water at 90°C for 4 h	22.28±0.09	12.42±1.24
Soaking in water by the pulsed electric field for 20 min	42.27±0.49	99.65±0.44

สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการสกัดสารแอนโธไซยานินหรือสีม่วงจากข้าวเหนียวดำด้วยวิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้นต่างกัน และการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักของข้าวเหนียวดำต่อน้ำเท่ากับ 1:5 จากการศึกษาพบว่า การแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องนาน 8 ชั่วโมง ซึ่งเป็นวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม และการแช่น้ำอุณหภูมิเริ่มต้นที่แตกต่างกัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการสกัดมากขึ้น ความเข้มข้นของสารแอนโธไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้น โดยการแช่ข้าวเหนียวดำในน้ำที่อุณหภูมิห้องนาน 8 ชั่วโมง และน้ำอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง สามารถสกัดสารแอนโธไซยานินได้ 8.72 และ 12.42 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ และการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์นาน 20 นาที สามารถสกัดสารแอนโธไซยานินได้ 99.65 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารแอนโธไซยานินจากข้าวเหนียวดำได้มากกว่าวิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง และน้ำอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส ได้ 12 และ 8 เท่า ตามลำดับ และใช้เวลาน้อยกว่า 24 และ 12 เท่า ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากโครงการเมืองนวัตกรรมเกษตรและอาหารล้านนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ประจำปี 2562 และขอขอบคุณ รศ.ดร.พานิช อินต๊ะ และอาจารย์ชัชวาลย์ กันทะลา ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชีวไฟฟ้า หน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์สำหรับงานวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้คำปรึกษา และเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จุฑาทิพย์ ศรีทาเกิด, รุ่งทิพา ชุมดำ, วริศรา ยังยืนกุล, อาทิตย์ ยาวุฑฒิ และพานิช อินต๊ะ. 2559. การสกัดน้ำจากแอปเปิ้ลสดโดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกล. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ* 26(2): 253-263.
- ชัชวาลย์ กันทะลา, เวสราธิ จรเจริญ, กัญญาภรณ์ เสือชุมแสง, ปพนธ์ สะอาดวง และพานิช อินต๊ะ. 2560. การพัฒนาและการทดสอบเบื้องต้นระบบสนามไฟฟ้าพัลส์ระดับห้องปฏิบัติการสำหรับการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำส้ม. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม* 1(1): 15-25.
- ดำเนิน กาละดี. 2554. *ข้าวเก่า (ข้าวเหนียวดำ) ทรัพยากรข้าวไทยที่ถูกลืม*. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มิ่งเมือง.
- วรินภา ศรีมูล และสมยศ สันติมาลัย. 2561. การสกัดแอนโธไซยานินจากลูกหว้า (*Syzygium cumini* Skeels) โดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* 46(4): 800-811.

- รัตน์ ม่วงรัตน์, ศุจินทรา สุวรรณ และปณิดา ศุทธิกิจ. 2558. ผลของสภาวะต่าง ๆ ในการสกัดแบบอัลตราโซนิกต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 23(ฉบับพิเศษ 5): 783-796.
- Anderson, O. M., and Markham, K. K. 2006. *Flavonoids-chemistry, biochemistry and applications*. New York: CRC Taylor & Francis Group.
- AOAC. 2005. *Official method of analysis*. 18th ed. USA: The Association of Official Analytical chemists (AOAC). Maryland: Gaithersburg.
- Bagchi, D., Sen, C. K., Bagchi, M., and Atalay, M. 2004. Anti-angiogenic, antioxidant, and anti-carcinogenic properties of a novel anthocyanin-rich berry extract formula. *Biochemistry* 69(1): 75-80.
- Chun-Ying, L., Hee-Woong, K., He, L., Deug-Chan, L., and Hae-Ik, R. 2014. Antioxidative effect of purple corn extracts during storage of mayonnaise. *Food Chemistry* 152: 592-596.
- Clark, J. P. 2006. Pulsed electric field processing. *Food Technology* 60(1): 66-67.
- Hou, D. X. 2003. Potential mechanisms of cancer chemoprevention by anthocyanins. *Current Molecular Medicine* 3(2): 149-159.
- Fuleki, T., and Francis, F. J. 1968. Quantitative methods for anthocyanin, extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. *Journal of Food Science* 33:72-77.
- Goettel, M., Eing, C., Gusbelth, E., Straessner, R., and Frey, W. 2013. Pulsed electric field assisted extraction of intracellular valuables from microalgae. *Algal Research Journal*. 28: 350-356.
- Grimi, N., Mamouni, F., Lebovka, N., Vorobiev, E., and Vaxelaire, J. 2011. Impact of apple processing modes on extracted juice quality: pressing assisted by pulsed electric fields. *Journal of food Engineering* 103(1): 52-61
- Katsube, N., Iwashita, K., Tsushida, T., Yamaki, K., and Kobori, M. 2003. Introduction of apoptosis in cancer cells by bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and the anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(1): 68-75.
- Lapornlik, B., Prošek, M., and Wonda, A. G. 2005. Comparison of extracts prepared from plant by-product using different solvents and extraction time. *Journal of food Engineering* 71(2): 214-222.
- Neher, B., Bhuiyan, M. R., Kabir, H., Qadir, R., Gafur, A., and Ahmed, F. 2014. Study of mechanical and physical properties of palm fiber reinforced acrylonitrile butadiene styrene composite. *Materials Sciences and Applications* 5(1): 39-45.
- Praporscic, I., Lebovka, N., Vorobiev, E., and Mietton-Peuchot, M. 2007. Pulsed electric field enhanced expression and juice quality of white grapes. *Separation and Purification Technology* 52(3): 520-526.
- Yang, Z., and Zhai, W. 2010. Identification and antioxidant activity of anthocyanins extracted from the seed and cob of purple corn (*Zea mays* L.). *Innovative Food Science & Emerging Technology* 11(1): 169-176.

วันรับบทความ (Received date) : 5 ต.ค. 64

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 11 มี.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 9 พ.ค. 65

การคัดเลือกพันธุ์ปทุมมาลูกผสมต้านทานต่อโรคเหี่ยวเฉาที่เกิดจากแบคทีเรีย

Ralstonia solanacearum species complex

Screening of *Curcuma* sp. (Patumma) Hybrid Lines for Their Resistance to Bacterial Wilt Caused by the *Ralstonia solanacearum* Species Complex

อติตยา คำวินิจ¹ อังสนา อัครพิศาล^{1*} พรสุข ชัยสุข¹ ธีรนิติ พวงกฤษ² และเฉลิมศรี นนทสวัสดิศรี²

Athiditaya Kumvinit¹, Angsana Akarapisan^{1*}, Pornsuk Chaisuk¹, Theeraniti Puangkrit² and Chalerm Sri Nontaswatsri²

บทคัดย่อ

การทดสอบการเกิดโรคในปทุมมาลูกผสม กับเชื้อแบคทีเรีย *Ralstonia solanacearum* species complex สาเหตุโรคเหี่ยวเฉาทั้ง 9 ไอโซเลต พบ 1 ไอโซเลตที่สามารถเข้าทำลายและทำให้ปทุมมาเกิดโรคได้ คือ *R. solanacearum* ไอโซเลต Si16 biovar 4, phylotype I, sequevar 30 ซึ่งแยกจากปทุมมาที่มีลักษณะอาการเหี่ยวเฉา จากอำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อคัดเลือกปทุมมาพันธุ์ลูกผสมโดยทดสอบความต้านทานต่อโรคเหี่ยวเฉา พบว่าพันธุ์ที่มีความต้านทานสูงสุดและแสดงความรุนแรงของการเกิดโรคเหี่ยวเฉาที่ 0 เปอร์เซ็นต์ คือ พันธุ์ยูกิ พลอยทักษิณ แม่โจ้พิมพ์ 01 และแม่โจ้พิมพ์ 02 ส่วนพันธุ์ชมพูมะลิ ชมพูเส้น และลัดดาวาลย์ แสดงความต้านทานต่อโรค โดยแสดงความรุนแรงของโรคหลังปลูกเชื้อที่ 25, 10 และ 5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ขาวมะลิ เชียงใหม่พิกซ์ และบิ๊กเรด แสดงความอ่อนแอสูงสุด โดยแสดงความรุนแรงของโรคที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า พันธุ์ปทุมมาที่มีความต้านทานและต้านทานสูงสุด ต่อเชื้อแบคทีเรีย สาเหตุโรคเหี่ยวเฉาสายพันธุ์ biovar 4, phylotype I, sequevar 30 คือพันธุ์ชมพูมะลิ ชมพูเส้น ลัดดาวาลย์ ยูกิ พลอยทักษิณ แม่โจ้พิมพ์ 01 และแม่โจ้พิมพ์ 02 ซึ่งความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกปทุมมาพันธุ์ลูกผสม เพื่อปลูกในเชิงการค้า และเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจในอนาคต

คำสำคัญ: ปทุมมา การคัดเลือกพันธุ์ โรคเหี่ยวเฉา *Ralstonia solanacearum* species complex

Abstract

The pathogenicity of 9 strains of bacterial wilt caused by the *Ralstonia solanacearum* species complex were tested by inoculation on Patumma hybrid lines, and it was only the *R. solanacearum* strain Si16 (biovar 4, phylotype I sequevar 30) that caused disease symptoms in Patumma. The bacterial strain was isolated from bacterial wilt found on Patumma sampled from San Sai District, Chiang Mai Province. The screening of Patumma hybrid lines for their resistance to bacterial wilt was done by inoculation with various bacterial wilt strains. The varieties that showed high resistance to the bacterial wilt with 0% of disease incidence were cv. Yuki, cv. Ploytaksin, cv. Maejo Impress 01 and cv. Maejo Impress 02. The varieties cv. Chom-Phu Mali, cv. Chom-Phu Sen and cv. Ladawan were found to be resistant to the bacterial wilt strain after inoculation at the 25%, 10%, and 5% levels, respectively. On the other hand, the varieties cv. Khao Mali (Chiang Rai), cv. Chiang Mai Pink and cv. Big Red showed highly susceptibility to bacterial wilt, with an incidence of 100%. Furthermore, the varieties that were resistant to the bacterial wilt strain (biovar 4, phylotype I, sequevar 30) included cv. Chom-Phu Mali, cv. Chom-Phu Sen, cv. Ladawan, cv. Yuki, cv. Ploytaksin, cv. Maejo Impress 01, and cv. Maejo Impress 02. The results of this research will be of benefit in Patumma hybrid line selection for commercial cultivation and will provide more economic value in the future.

Keywords: Patumma, varietal selection, bacterial wilt, *Ralstonia solanacearum* species complex

¹สาขาวิชาโรคพืช ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

²สาขาวิชาพืชสวนประดับ ภาควิชาพืชสวน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹Division of Plant Pathology, Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

²Division of Ornamental Horticulture, Department of Horticulture, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, 50290

*Corresponding author, E-mail: angkana.aka@gmail.com

คำนำ

ปทุมมา (Patumma) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Curcuma alismatifolia* Gagnep เป็นไม้ดอกประเภทหัวอยู่ในวงศ์ Zingiberaceae เช่นเดียวกับ ขิง ข่า ขมิ้น และกระเจียว การผลิตปทุมมาสามารถผลิตได้ปีละครั้ง ในช่วงเดือนเมษายนถึง ธันวาคม โดยเริ่มปลูกในช่วงฤดูร้อน ออกดอกในช่วงฤดูฝน และพักตัวในช่วงฤดูหนาว (สุรพล สว่างเนตร, 2548) พบพันธุ์ปทุมมาในประเทศไทยมากกว่า 30 ชนิด ต่อมา มีการผลิตในเชิงการค้าและส่งออกต่างประเทศ การรายงานของ สุภาพร สัมโย และอำนาจ อรรถจักร์ (2563) กล่าวถึงแหล่งผลิตปทุมมา ในปี 2562 ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 400 ไร่ โดยส่วนใหญ่อยู่ในเขตภาคเหนือ ในจังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย ส่วนพื้นที่อื่น ๆ ได้แก่ พะเยา ลำพูน เลย ชัยภูมิ และกาญจนบุรี เป็นต้น การส่งออกหัวพันธุ์ปทุมมา มีมูลค่า 39.17 ล้านบาท ประเทศหลักที่ส่งออก ได้แก่ อินโดนีเซีย ปากีสถาน และมาเลเซีย มีมูลค่า 11.59, 7.38 และ 6.73 ล้านบาท ตามลำดับ นอกจากนี้การผลิตปทุมมามีประสบปัญหาโรคเหี่ยวเหี่ยว ซึ่งทำความเสียหายต่อผลผลิตมากถึง 5-90 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้มีการส่งออกชะลอตัว เนื่องจากมีความกังวลเกี่ยวกับโรคที่จะติดไปกับหัวพันธุ์ (สุรชาติ คูอารยกุล, 2539)

โรคเหี่ยวเหี่ยว เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อแบคทีเรีย *Ralstonia solanacearum* species complex ซึ่งเชื้อแบคทีเรียชนิดนี้ สามารถเข้าทำลายพืชได้มากกว่า 200 ชนิด (species) และมากกว่า 50 วงศ์ (families) โดยพืชอาศัยของเชื้อแบคทีเรียชนิดนี้ อยู่ในวงศ์ Solanaceae, Musaceae, Zingiberaceae และ Cucurbitaceae เป็นต้น (Hayward, 1994; She et al., 2017) ทั้งนี้ความรุนแรงก็จะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ชนิดของพืชที่เข้าทำลาย และสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเกิดโรค (Hayward, 1994) ลักษณะอาการที่พบบนพืชโดยทั่วไปคือ ในระยะแรกจะเกิดอาการเหี่ยวในกลางวันที่มีอากาศร้อน และจะฟื้นเป็นปกติในเวลากลางคืน หรืออาจมีอาการเหี่ยวเล็กน้อย หลังจากนั้นจะแสดงอาการเหี่ยวที่รุนแรงมากขึ้น เหี่ยวทั้งต้น ใบเหี่ยวร่วงทั้งที่ต้นยังเขียวอยู่ หากสภาพแวดล้อมเหมาะสม อากาศร้อนจัด และความชื้นสูง การพัฒนาของโรคจะเร็วมาก พืชจะเหี่ยวทั้งต้นเหลือง และตายอย่างรวดเร็ว เมื่อตัดส่วนลำต้นมาแช่ในน้ำสะอาด จะพบของเหลวสีขาวขุ่นไหลออกมา (bacterial ooze) และพบอาการบริเวณท่อน้ำเลี้ยงถูกทำลาย (Dhital et al., 2000; Charkowski et al., 2020)

การจัดจำแนกเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคเหี่ยวเหี่ยวโดยใช้คุณสมบัติทางชีวเคมี สามารถจัดกลุ่มของ *R. solanacearum* species complex เป็น 4 biovar โดยจัดตามกระบวนการเมแทบอลิซึมของ disaccharides ได้แก่ maltose, lactose, cellobiose, trehalose และ กระบวนการเมแทบอลิซึมของ hexose alcohols ได้แก่ sorbitol, mannitol, dulcitol (Huang et al., 2012) ในปัจจุบันการจัดจำแนกโดยใช้เทคนิคทางโมเลกุลของ *R. solanacearum* species complex ได้รับการศึกษามากขึ้น เพื่อให้สามารถจัดจำแนกเชื้อ และจัดกลุ่มชนิดของเชื้อได้อย่างแม่นยำ นำเชื้อเดิมมากขึ้น โดยการรายงานของ Fegan and Prior (2005) ได้จำแนกเชื้อแบคทีเรียตามถิ่นกำเนิดเป็น 4 กลุ่ม หรือ 4 phylotype โดย phylotype I มีถิ่นกำเนิดจากเอเชีย Phylotype II มีถิ่นกำเนิดจากอเมริกา Phylotype III มีถิ่นกำเนิดจากแอฟริกาใต้และอินเดีย และ Phylotype IV มีถิ่นกำเนิดจากอินโดนีเซีย นอกจากนี้ยังมีการจัดจำแนกให้เฉพาะเจาะจง สามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของ sequevar โดยศึกษาตำแหน่งของยีนที่ทำให้เกิดโรค คือตำแหน่งของยีน endoglucanase (*egl*) และ transcriptional regulator (*hrpB*) จัดจำแนกด้วยวิธี DNA sequencing แล้วนำลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้มาวิเคราะห์ โดย BLAST ลำดับนิวคลีโอไทด์ เปรียบเทียบกับลำดับนิวคลีโอไทด์ใน GenBank แล้ววิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้รูปแบบ Trees (Santana et al., 2012; Ailloud et al., 2015; Kyaw et al., 2017) ต่อมา Safni et al. (2014) ได้นำเสนอการจัดจำแนกเชื้อแบคทีเรีย *R. solanacearum* species complex ใหม่เป็น 3 species หลัก ๆ ได้แก่ *Ralstonia pseudosolanacearum* (Phylotype I และ Phylotype III), *R. solanacearum* (Phylotype II), และ *Ralstonia syzygii* (Phylotype IV) ซึ่ง *R. syzygii* สามารถแบ่งได้อีก 3 subspecies ได้แก่ *R. syzygii* subsp. *syzygii*, *R. syzygii* subsp. *celebesensis* และ *R. syzygii* subsp. *indonesiensis* (Safni et al., 2018)

เชื้อแบคทีเรีย *R. solanacearum* species complex เป็นสาเหตุโรคเหี่ยวของพืชเศรษฐกิจที่สำคัญหลายชนิด และยังไม่มียาหรือการใดที่สามารถควบคุมโรคนี้ได้ผลดีพอ โดยเฉพาะการใช้สารเคมียังไม่มีการแนะนำให้ใช้ แนวทางในการควบคุมโรคนี้ต้องเน้นที่การป้องกัน จึงจะได้ผลดีกว่า เพราะเชื้อสาเหตุนี้มีพืชอาศัยที่กว้าง สามารถมีชีวิตอยู่ในดิน ในน้ำ หรือแฝงในพืชอาศัยอื่น ๆ ได้เป็นเวลากว่าหลายปี การแพร่กระจายของเชื้อสาเหตุ สามารถแพร่กระจายได้ง่ายและแพร่กระจายได้ไกล โดยเฉพาะติดไปกับหัวพันธุ์และวัสดุปลูก (Alvarez et al., 2008) งานวิจัยในการคัดเลือกพันธุ์ต้านทาน โดย เสรี พิศลป์ (2543) ได้ทดสอบความต้านทานโรคเหี่ยวเหี่ยวของมะเขือเทศ 35 สายพันธุ์ทั่วโลก โดยเปรียบเทียบกับพันธุ์อ่อนแอ 2 สายพันธุ์ ในสภาพแปลงทดลองที่มีการระบาดของโรคเหี่ยวเหี่ยว ผลการศึกษาสามารถคัดเลือกพันธุ์ต้านทานโรคได้ 3 สายพันธุ์ คือ Hawaii7998, MT-II และ TML46-N-12-N early NT การคัดเลือกพันธุ์ต้านทานต่อโรคเหี่ยวเหี่ยว จึงเป็นวิธีที่ดีที่สุดอีกวิธีหนึ่ง เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อผลผลิต

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อทราบชนิดของเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคเหี่ยวเฉาที่เข้าทำลายปทุมมา ซึ่งจัดจำแนกโดย biovar, phylotype และ sequevar และคัดเลือกพันธุ์ของปทุมมาที่ต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคเหี่ยวเฉา

วิธีการศึกษา

พืชที่ใช้ปลูกเชื้อทดสอบ

พืชที่ใช้ทดสอบอายุ 21 วัน ได้แก่ มะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum*), พริก (*Capsicum annuum* 'Bird's Eye'), ดาวเรือง (*Tagetes erecta*), แตงกวา (*Cucumis sativus*), ฟักทอง (*Cucurbita maxima*) และปทุมมาลูกผสม 16 พันธุ์ อายุ 30 วัน ได้แก่ พันธุ์ขาวมะลิเชียงใหม่ (*Curcuma* sp. cv. Khao Mali (Chiang Rai)), พันธุ์เชียงใหม่พิงค์ (*Curcuma alismatifolia* cv. Chiang Mai Pink), พันธุ์บิ๊กเรด (*Curcuma* cv. Big Red), พันธุ์มวบบลัง (*Curcuma alismatifolia* cv. Mont Blanc), พันธุ์สโนไวท์ (*Curcuma alismatifolia* cv. Snow White), พันธุ์ผีเสื้อ (*Curcuma* sp. cv. Phee Sure), พันธุ์แดงตุง (*Curcuma* sp. cv. Dang Tung), พันธุ์ชมพูกลีบแข็ง (*Curcuma* sp. cv. Chom-Phu Kleeb Kaeng), พันธุ์ชาโดว์ (*Curcuma* sp. cv. Shadow), พันธุ์ชมพูมะลิ (*Curcuma* sp. cv. Chom-Phu Mali), พันธุ์ชมพูเส้น (*Curcuma* sp. cv. Chom-Phu Sen), พันธุ์ลัดดาวัลย์ (*Curcuma* sp. cv. Ladawan), พันธุ์ยูกิ (*Curcuma* sp. cv. Yuki), พันธุ์พลอยทักซิธ (*Curcuma aurantiaca* cv. Ploytaksin), พันธุ์แม่ใจอิมเพลส 01 (*Curcuma* sp. cv. Maejo Impress 01) และพันธุ์แม่ใจอิมเพลส 02 (*Curcuma* sp. cv. Maejo Impress 02) ในการทดสอบปลูกเชื้อทดสอบ ได้ใช้พืชชนิดอื่นที่นอกเหนือจากปทุมมาในการทดสอบด้วย เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการเข้าทำลายและการเกิดโรคจากเชื้อแบคทีเรียที่ต่างชนิดกัน เมื่อจัดจำแนกทาง biovar, phylotype และ sequevar

เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ

เชื้อสาเหตุโรคเหี่ยวเฉาที่เกิดจากแบคทีเรีย *R. solanacearum* species complex จำนวน 9 ไอโซเลต (Akarapisan et al., 2021) เพื่อใช้ในการทดสอบการเกิดโรค จากห้องปฏิบัติการแบคทีเรีย สาขาวิชาโรคพืช ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (Table 1) และเมื่อใช้ยีน *egl* ในการจัดจำแนกความแตกต่าง (sequevar) ของเชื้อทั้ง 9 ไอโซเลตได้ดัง Figure 1

Table 1 *R. solanacearum* species complex strains used in this study.

Strains	Host	Origin	biovar	phylotype/ sequevar	GenBank No. (<i>egl</i> gene)
1. Si16	Patumma	San Sai, Chiang Mai	4	I / 30	MW911479
2. CK1	potato	Chai Prakan, Chiang Mai	2T	IIA / 1	MW911478
3. Ta1	marigold	San Sai, Chiang Mai	3	I / 17	MW911480
4. To1	tomato	Mae Chaem, Chiang Mai	4	I / 47	MW911488
5. To3	tomato	Mueang, Chiang Mai	2T	I / 13	MW911490
6. Pu6	pumpkin	Mae Sai, Chiang Rai	2T	I / 17	MW874830
7. Ch1	bird chili	Mae Sai, Chiang Rai	2T	I / 17	MW911483
8. ChB	bird chili	Sa Moeng, Chiang Mai	4	I / 47	MW911485
9. Eg5	Thai eggplant	Mae Sai, Chiang Rai	4	I / 47	MW911494

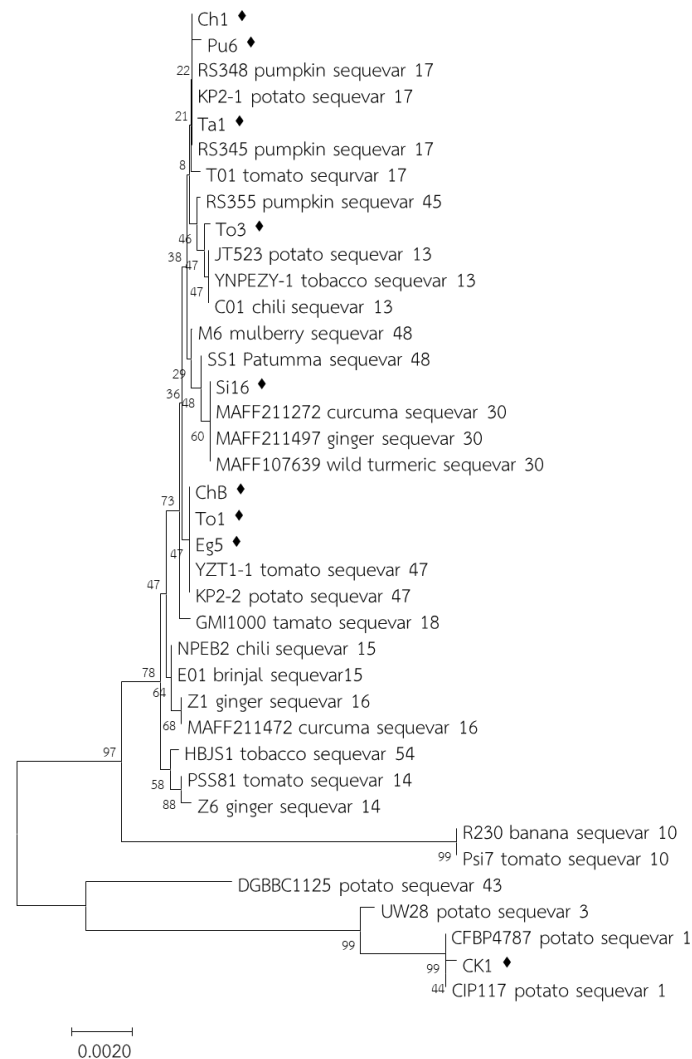


Figure 1 Phylogenetic neighbor-joining tree based on partial endoglucanase gene (*egl*) sequences of 9 strains of *R. solanacearum* species complex. The numbers were the percent bootstrap support for 1,000 resampling and evolutionary analyses conducted in MEGA10.

การปลูกเชื้อแบคทีเรียสาเหตุ *R. solanacearum* species complex บนพืชทดสอบ

เลี้ยงเชื้อแบคทีเรียบนอาหาร NA (nutrient agar) บ่มที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ขูดเชื้อด้วยหัวหยัก เชื้อเชื้อลงในน้ำกลั่นหนึ่งฝาเชื้อ ปรับความเข้มข้นของเชื้อโดยการวัดค่าความขุ่นโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ช่วงความยาวคลื่นแสง 600 นาโนเมตร ให้ได้ค่า optical density (O.D.) เท่ากับ 0.2 ซึ่งมีความเข้มข้นของเซลล์ประมาณ 10^8 cfu/ml โดยขั้นตอนการปลูกเชื้อลงในพืชทดสอบที่ปลูกในกระถางเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 เซนติเมตร จะใช้มีดขนาด 1.5×12 เซนติเมตร ตัดส่วนรากให้ห่างจากโคนต้น 2 เซนติเมตร ทั้ง 2 ด้าน แล้ววาดเซลล์แขวนลอยของเชื้อแบคทีเรีย ปริมาตร 10 มิลลิลิตรต่อต้น ซึ่งชุดควบคุมใช้น้ำกลั่นแทนเซลล์แขวนลอยของเชื้อสาเหตุโรค โดยวางแผนการทดลองการปลูกเชื้อแบคทีเรียทั้ง 9 ไอโซเลต ในแต่ละชนิดพืชทดสอบ กรรมวิธีละ 20 ต้น จากนั้นสังเกตการเกิดโรค โดยบันทึกการเกิดโรค ซึ่งดัดแปลงวิธีของปิยรัตน์ ธรรมกิจวัฒน์ และคณะ (2542) และเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของโรคหลังปลูกเชื้อ 15 และ 30 วัน (Yang et al., 2012) ดังนี้

ระดับการเกิดโรค

- 0 = ไม่แสดงอาการ
- 1 = ใบม้วนหรือเหี่ยวลู่ลง 1-2 ใบ จากใบล่าง (ต้นสีเขียว)
- 2 = ใบม้วนหรือเหี่ยวลู่ลง มากกว่า 2 ใบ (ต้นสีเขียว)
- 3 = ใบม้วนหรือเหี่ยวทั้งต้นและต้นเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง
- 4 = ใบม้วนหรือเหี่ยวทั้งต้น ต้นเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และโคนจมน้ำ
- 5 = โคนจมน้ำและต้นล้มตาย

เปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของโรค (disease incidence)

$$\text{ความรุนแรงของโรค (\%)} = \frac{\sum (\text{จำนวนต้นพืชที่เป็นโรคในแต่ละระดับ} \times \text{ระดับการเกิดโรค}) \times 100}{\text{จำนวนต้นพืชทั้งหมดที่ทำการทดสอบ} \times \text{ระดับการเกิดโรคสูงสุด}}$$

โดยแบ่งการตอบสนองต่อโรค (disease reaction) แบ่งออกเป็น 6 ระดับ ดัดแปลงจาก Khan et al. (2015)

ต้านทานสูงสุด (highly resistant: HR)	ความรุนแรงของโรค 0 เปอร์เซ็นต์
ต้านทาน (resistant: R)	ความรุนแรงของโรค 1-25 เปอร์เซ็นต์
ต้านทานปานกลาง (moderately resistant: MR)	ความรุนแรงของโรค 26-50 เปอร์เซ็นต์
อ่อนแอปานกลาง (moderately susceptible: MS)	ความรุนแรงของโรค 51-75 เปอร์เซ็นต์
อ่อนแอ (susceptible: S)	ความรุนแรงของโรค 76-99 เปอร์เซ็นต์
อ่อนแอสูงสุด (highly susceptible: HS)	ความรุนแรงของโรค 100 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการทดสอบการเกิดโรค โดยปลูกเชื้อแบคทีเรีย *R. solanacearum* species complex ทั้งหมด 9 ไอโซเลต บนพืชทดสอบ พบว่า เชื้อแบคทีเรียทุกไอโซเลตทำให้เกิดโรคในมะเขือเทศ และดาวเรือง ส่วนการทดสอบการเกิดโรคในพริกชี้หนู พบเพียงไอโซเลต CK1 (biovar 2T, phylotype IIA, sequevar 1) เท่านั้น ที่ไม่ทำให้พริกชี้หนูเกิดโรค ในพืชทดสอบดังกล่าว ไอโซเลตที่ทำให้เกิดโรค ได้แก่ ไอโซเลต To3 (biovar 2T, phylotype I, sequevar 13) ไอโซเลต Pu6 และ Ch1 (biovar 2T, phylotype I, sequevar 17) ส่วนพืชทดสอบพริกทอง พบเชื้อแบคทีเรียเพียง 2 ไอโซเลตที่ทำให้พริกทองเกิดโรค คือ ไอโซเลต Pu6 และ Ch1 (biovar 2T, phylotype I, sequevar 17) และพืชทดสอบปทุมมา พบ 1 ไอโซเลตเท่านั้นที่ทำให้ปทุมมาเกิดโรค คือ ไอโซเลต Si16 (biovar 4, phylotype I, sequevar 30) จะเห็นได้ว่าเชื้อแบคทีเรียที่ต่าง sequevar ก็มีความสามารถทำให้เกิดโรคในพืชที่แตกต่างกัน หากนำปทุมมาไปปลูกในพื้นที่ที่มีการระบาดของแบคทีเรียสาเหตุโรคเหี่ยวเหี่ยว sequevar 1, 13, 17 และ 47 ปทุมมาจะไม่แสดงอาการของโรคเหี่ยวเหี่ยว

เนื่องจากการรายงานการจำแนกเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคเหี่ยวเหี่ยวในปทุมมายังมีไม่มากนัก ในปี 2544 มีการรายงานว่าพบเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคเหี่ยวเหี่ยวในปทุมมา โดยแยกเชื้อจากปทุมมา 15 ตัวอย่าง และจัดจำแนกในระดับ biovar สามารถจำแนกทั้ง 15 ไอโซเลต ได้เป็น biovar 4 (Piyarat et al., 2001) ต่อมา Thanu and Akarapisan (2018) ได้ศึกษาโรคเหี่ยวเหี่ยวในปทุมมา และจัดจำแนกเชื้อแบคทีเรียสาเหตุ โดยใช้เทคนิค DNA sequencing ซึ่งสามารถจัดจำแนกเชื้อแบคทีเรียที่แยกจากปทุมมาได้เป็น *R. solanacearum* (biovar 4, phylotype I, sequevar 48) เนื่องจากปทุมมาเป็นไม้ดอกประเภทหัวอยู่ในวงศ์ Zingiberaceae เช่นเดียวกับ ขิง ข่า ขมิ้น และกระเจียว การจัดจำแนกเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคเหี่ยวเหี่ยวในพืชกลุ่มนี้ โดยเทคนิค DNA sequencing ก็ยังมีไม่มากนัก จากการรายงานของ Xu et al. (2009) และ She et al. (2017) ได้แยกเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคเหี่ยวเหี่ยวจากขิง พบ sequevar 14, 16, 18, 44 และ 48 อีกทั้งการศึกษาในประเทศญี่ปุ่น Horita and Sakai (2020) ได้จัดจำแนกเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคเหี่ยวเหี่ยว ในพืชวงศ์ Zingiberaceae (ได้แก่ ขิง ขิงญี่ปุ่น ขมิ้น ขมิ้นป่า ขมิ้นอ้อย และขมิ้นชัน) ได้จัดจำแนกเป็น *R. pseudosolanacearum* (biovar 4, phylotype I, sequevars 14, 16 และ 30) ซึ่ง sequevar 30 ตรงกับเชื้อแบคทีเรียสาเหตุที่ศึกษาในงานทดลองนี้

เนื่องจากการรายงานการคัดเลือกพันธุ์ปทุมมาที่ต้านทานต่อโรคเหี่ยวเหี่ยวยังมีไม่มากนัก จากผลการทดลอง การทดสอบการเกิดโรคในปทุมมาพันธุ์ต่าง ๆ พันธุ์ที่แสดงอาการเหี่ยวเหี่ยว ได้แก่ พันธุ์ขาวมะลิเขียวราย เขียวใหม่พิงค์ บิ๊กเรด มวยปลั่ง สโนไวท์ ฝีเสื้อ แดงตุง ชมพูกลีบแข็ง ชาโดว์ ชมพูมะลิ ชมพูเส้น และลัดดาวัลย์ ในขณะที่พันธุ์ยูกิ พลอยทักซิณ

แม่โจ้ิมเพลส 01 และแม่โจ้ิมเพลส 02 ไม่พบต้นที่แสดงอาการของโรคเหี่ยวเฉียว (Table 2) ซึ่งปทุมมาแต่ละพันธุ์แสดงความอ่อนแอต่อเชื้อแบคทีเรียสาเหตุดังกล่าวแตกต่างกัน ซึ่งจะกล่าวถึงในงานทดลองต่อไป

Table 2 Pathogenicity of *R. solanacearum* species complex strains on inoculated plants at 30 days after inoculation.

Inoculated plants	<i>R. solanacearum</i> species complex strains									
	control	Si16	CK1	Ta1	To1	To3	Pu6	Ch1	ChB	Eg5
Tomato (<i>Solanum Lycopersicum</i>)	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
bird chili (<i>Capsicum annuum</i> 'Bird's Eye')	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+
Marigold (<i>Tagetes erecta</i>)	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Cucumber (<i>Cucumis sativus</i>)	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-
Pumpkin (<i>Cucurbita maxima</i>)	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
<i>Curcuma</i> sp. cv. Khao Mali (Chiang Rai)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Curcuma alismatifolia</i> cv. Chiang Mai Pink	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Curcuma</i> cv. Big Red	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Curcuma alismatifolia</i> cv. Mont Blanc	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Curcuma alismatifolia</i> cv. Snow White	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Curcuma</i> sp. cv. Phee Sure	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Curcuma</i> sp. cv. Dang Tung	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Curcuma</i> sp. cv. Chom-Phu Kleeb Kaeng	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Curcuma</i> sp. cv. Shadow	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Curcuma</i> sp. cv. Chom-Phu Mali	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Curcuma</i> sp. cv. Chom-Phu Sen	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Curcuma</i> sp. cv. Ladawan	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Curcuma</i> sp. cv. Yuki	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Curcuma aurantiaca</i> cv. Ploytaksin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Curcuma</i> sp. cv. Maejo Impress 01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Curcuma</i> sp. cv. Maejo Impress 02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- No wilting, + Wilting.

การทดสอบพันธุ์ต้านทานของปทุมมา เมื่อปลูกเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคเหี่ยวเฉียวในปทุมมา ไอโซเลต Si16 (biovar 4, phylotype I, sequevar 30) โดยทดสอบกับปทุมมาและปทุมมาลูกผสมรวม 16 พันธุ์ แล้วประเมินความรุนแรงของการเกิดโรคหลังปลูกเชื้อที่ 15 และ 30 วัน แสดงให้เห็นว่า ปทุมมาแต่ละพันธุ์ต้านทานหรืออ่อนแอและต่อเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคเหี่ยวเฉียวแตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่า พันธุ์ปทุมมาที่อ่อนแอสูงสุด โดยแสดงความรุนแรงของโรค 100 เปอร์เซ็นต์ คือ พันธุ์ขาวมะลิเขียวราย เขียวใหม่พิงค์ และบิกเรด ซึ่งตายอย่างรวดเร็วหลังจากการปลูกเชื้อเพียง 15 วัน เมื่ออ่านผลการทดลองหลังปลูกเชื้อ 30 วัน พบพันธุ์ปทุมมาที่อ่อนแอต่อโรค โดยแสดงความรุนแรงของโรคในช่วง 76-99 เปอร์เซ็นต์ คือ พันธุ์มวยบลัง อีกทั้งพันธุ์ปทุมมาที่อ่อนแอต่อโรคปานกลาง โดยแสดงความรุนแรงของโรคในช่วง 51-75 เปอร์เซ็นต์ คือ พันธุ์ผีเสื้อ สโนว์ไวท์ และแดงตุ ในขณะที่ยพันธุ์ชมพูกลีบแข็ง และชาโดว์ แสดงความต้านทานโรคปานกลาง ซึ่งความรุนแรงของโรคอยู่ในช่วง 26-50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพันธุ์ชมพูมะลิ ชมพูเส้น และลัดดาวัลย์ แสดงความต้านทานโรค ซึ่งความรุนแรงของโรคอยู่ในช่วง 1-25 เปอร์เซ็นต์ แต่พันธุ์ยูกิ พลอยทักษิณ แม่โจ้ิมเพลส 01 และแม่โจ้ิมเพลส 02 มีความต้านทานสูงสุดต่อเชื้อแบคทีเรียสาเหตุ โดยไม่พบต้นที่แสดงอาการของโรคเหี่ยวเฉียว แสดงความรุนแรงของโรคอยู่ที่ 0 เปอร์เซ็นต์ (Table 3 และ Figure 2)

Table 3 Percent of disease incidence by *R. solanacearum* species complex, strain Si16, biovar 4, phylotype I, sequevar 30 at 15 and 30 days after inoculation.

Inoculated plants	Disease incidence (%)		Disease Reaction ¹
	15 days	30 days	
Tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>)	100.0	100.0	HS
bird chili (<i>Capsicum annuum</i> 'Bird's Eye')	33.3	41.7	MR
Marigold (<i>Tagetes erecta</i>)	16.0	50.0	MR
Cucumber (<i>Cucumis sativus</i>)	0	0	HR
Pumpkin (<i>Cucurbita maxima</i>)	0	0	HR
<i>Curcuma</i> sp. cv. Khao Mali (Chiang Rai)	100.0	100.0	HS
<i>Curcuma alismatifolia</i> cv. Chiang Mai Pink	100.0	100.0	HS
<i>Curcuma</i> cv. Big Red	94.0	100.0	HS
<i>Curcuma alismatifolia</i> cv. Mont Blanc	52.0	90.0	S
<i>Curcuma alismatifolia</i> cv. Snow White	44.0	70.0	MS
<i>Curcuma</i> sp. cv. Phee Sure	50.0	60.0	MS
<i>Curcuma</i> sp. cv. Dang Tung	50.0	60.0	MS
<i>Curcuma</i> sp. cv. Chom-Phu Kleeb Kaeng	14.0	50.0	MR
<i>Curcuma</i> sp. cv. Shadow	30.0	45.0	MR
<i>Curcuma</i> sp. cv. Chom-Phu Mali	22.0	25.0	R
<i>Curcuma</i> sp. cv. Chom-Phu Sen	5.0	10.0	R
<i>Curcuma</i> sp. cv. Ladawan	0	5.0	R
<i>Curcuma</i> sp. cv. Yuki	0	0	HR
<i>Curcuma aurantiaca</i> cv. Ploytaksin	0	0	HR
<i>Curcuma</i> sp. cv. Maejo Impress 01	0	0	HR
<i>Curcuma</i> sp. cv. Maejo Impress 02	0	0	HR

1/ HR; Highly Resistant, R; Resistant, MR; Moderately Resistant, MS; Moderately Susceptible, S; Susceptible, HS; Highly Susceptible Resistant.

สรุปผลการศึกษา

การทดสอบการเกิดโรคเหี่ยวเฉาในปทุมมาลูกผสมพันธุ์ต่าง ๆ โดยใช้เชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคเหี่ยวเฉา 9 ไอโซเลต พบ 1 ไอโซเลตที่สามารถเข้าทำลายและทำให้ปทุมมาเป็นโรคได้ คือ *R. solanacearum* ไอโซเลต Si16 (biovar 4, phylotype I, sequevar 30) เมื่อปลูกเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวเพื่อคัดเลือกพันธุ์ปทุมมาลูกผสมที่ต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรค พบว่า ปทุมมาพันธุ์ที่ต้านทานสูงสุด ไม่แสดงอาการของโรคเหี่ยวเฉา คือ พันธุ์ยูกิ พลอยทักษิณ แม่โจ้มเพลส 01 และแม่โจ้มเพลส 02 ส่วนพันธุ์ปทุมมาที่มีความต้านทานโรค ได้แก่ ชมพูมะลิ ชมพูเส้น และลัดดาวัลย์ ในขณะที่พันธุ์ขาวมะลิ เชียงราย เชียงใหม่ พิงค์ บิ๊กเรด และมวยปล้ำ ไม่ต้านทานโรค แสดงอาการเหี่ยวเฉารุนแรง

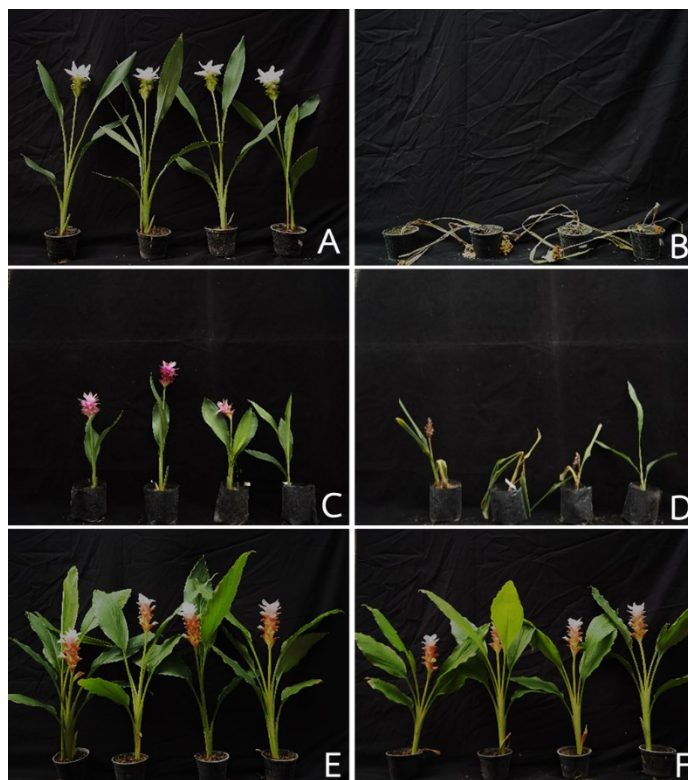


Figure 2 The pathogenicity of *R. solanacearum* species complex, strain Si16 (biovar 4, phylotype I, sequevar 30) on *Curcuma* sp. at 30 days after inoculation.

- (A) Non-inoculated of *Curcuma* sp. cv. Khao Mali (Chiang Rai).
 (B) Pathogenicity test of *Curcuma* sp. cv. Khao Mali (Chiang Rai) at 100% of disease incidence.
 (C) Non-inoculated of *Curcuma* sp. cv. Dang Tung.
 (D) Pathogenicity test of *Curcuma* sp. cv. Dang Tung at 60% of disease incidence.
 (E) Non-inoculated of *Curcuma* sp. cv. Maejo Impress 02.
 (F) Pathogenicity test of *Curcuma* sp. cv. Maejo Impress 02 at 0% of disease incidence.

เอกสารอ้างอิง

- ปิยะรัตน์ ธรรมกิจวัฒน์, นิพนธ์ ทวีชัย, อำไพวรรณ ภราดรพันธุ์, สุรวิษ วรรณไกรโรจน์ และสุรางค์ สุธิราวุธ. 2542. โรคหัวเน่าจากแบคทีเรียของปทุมมาและการตรวจเชื้อที่ติดมากับหัวพันธุ์. ใน การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37 สาขาพืช สาขาส่งเสริมนิเทศศาสตร์. น. 295-302. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; กระทรวงการเกษตรและสหกรณ์; กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม; ทบวงมหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สุรชาติ คูอารยกุล. 2539. โรคเหี่ยวหรือหัวเน่าของไม้ดอกตระกูลกระเจียวและการป้องกันกำจัด. ใน เอกสารประกอบคำบรรยายการสัมมนาวิชาการ เรื่อง “ผลกระทบของโรคหัวเน่าของปทุมมาต่อการผลิตและการส่งออก. น.1-22. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขต 1 กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สุรพล สว่างเนตร. 2548. การศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาในการส่งออกหัวพันธุ์ปทุมมาไปต่างประเทศ. ใน ผลงานฉบับเต็ม กลุ่มวินิจัยศัตรูพืช ส่วนควบคุมพืชและวัสดุทางการเกษตร. น. 2-52. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- สุภาพร สัมโย และอำนาจ อรรถถังรอง. 2563. สถานการณ์การผลิตปทุมมา (มิถุนายน 2563). สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. หน้า 1-6. <https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/10/สถานการณ์ปทุมมามิถุนายน2563.pdf> (30 ธันวาคม 2564).
- เสรี พิศาลปี. 2543. การตรวจสอบและคัดเลือกมะเขือเทศลูกผสมพันธุ์ต้านทานต่อโรคเหี่ยวเหี่ยว. น.1-103. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Alvarez, B., Lopez, M., and Biosca, G. 2008. Survival strategies and pathogenicity of *Ralstonia solanacearum* phylotype II subjected to prolonged starvation in environmental water microcosms. *Microbiology* 154: 3590-3598.
- Ailloud, F., Lowe, T., Cellier, G., Roche, D., Allen, C., and Prior, P. 2015. Comparative genomic analysis of *Ralstonia solanacearum* reveals candidate genes of host specificity. *BMC Genomics* 16(270): 1-11.
- Akarapisan, A., Kumvinit, A., Thungrabeab, M., Thumdee, S., and Kositratana, W. 2021. Phylotype, sequevar and pathogenicity of *Ralstonia solanacearum* species complex from Northern Thailand. *Journal of Phytopathology* 170: 176-184.

- Charkowski, A., Sharma, K., Parker, L. M., Secor, A.G., and John, E. 2020. The potato crop. *In: Bacterial diseases of potato*, pp. 351-388.
- Dhital, P. S., Thaveechai, N., and Shrestha, K. S. 2000. Characteristic of *Ralstonia solanacearum* strains of potato wilt disease from Nepal and Thailand. *Nepal Agriculture Research Journal* 4: 42-47.
- Fegan, M., and Prior, P. 2005. Bacterial wilt disease and the *Ralstonia solanacearum* species complex. *In: How complex is the Ralstonia solanacearum* species complex, pp. 449-462.
- Hayward, A. C. 1994. "The host of *Pseudomonas solanacearum*" in Bacterial Wilt: The disease and its Causative Agent, *Pseudomonas solanacearum*, eds Harward AC and Hartman (Wallingford: CAB International). 9-24.
- Horita, M., and Sakai, K. Y. 2020. Specific detection and quantification of *Ralstonia pseudosolanacearum* race 4 strains from Zingiberaceae plant cultivation soil by MPN-PCR. *Journal of General Plant Pathology* 86: 393-400.
- Huang, Q., Yan, X., and Wang, F. J. 2012. Improved biovar test for *Ralstonia solanacearum*. *Journal of Microbiological Methods* 88: 271-274.
- Khan, M., Rafi, A., Abbas, A., Ali, T., and Hassan, A. 2015. Assessment of yield losses caused by bacterial blight of rice in upper dir, Khyber Pakhtunkhwa province. *Asian Journal of Agriculture and Biology* 3(2): 74-78.
- Kyaw, W. W. H., Tsuchiya, K., Matsumoto, M., Iiyama, K., Aye, S. S., Zaw, M., Kurose, D., Horita, M., and Furuya, N. 2017. Genetic diversity of *Ralstonia solanacearum* strains causing bacterial wilt of Solanaceous crops in Myanmar. *Journal of General Plant Pathology* 83: 216-225.
- Piyarat, T., Nophone, T., Wichai, K., Julapark, C., Frederick, D.R., and Schaad, W. N. 2001. Genetic analysis of *Ralstonia solanacearum* strains from different hosts in Thailand using PCR-restriction fragment length polymorphism. *Kasetsart Journal* 35: 397-408.
- Safni, I., Cleenwerck, I., Vos, D. P., Fegan, M., Sly, L., and Kappler, U. 2014. Polyphasic taxonomic revision of the *Ralstonia solanacearum* species complex: proposal to emend the descriptions of *Ralstonia solanacearum* and *Ralstonia syzygii* and reclassify current *R. syzygii* strains as *Ralstonia syzygii* subsp. *syzygii* subsp. nov., *R. solanacearum* phylotype IV strains as *Ralstonia syzygii* subsp. *indonesiensis* subsp. nov., banana blood disease bacterium strains as *Ralstonia syzygii* subsp. *celebesensis* subsp. nov. and *R. solanacearum* phylotype I and III strains as *Ralstonia pseudosolanacearum* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 64: 3087-3103.
- Safni, I., Subandiyah, S., and Tegan, M. 2018. Ecology, epidemiology and disease management of *Ralstonia syzygii* in Indonesia. *Frontiers in microbiology*. 9: article 419.
- Santana, B. G., Lopes, C. A., Alvarez, E., Barreto, C. C., Allen, C., and Quirino, B. F. 2012. Diversity of Brazilian biovar 2 strains of *Ralstonia solanacearum*. *Journal of General Plant Pathology* 78: 190-200.
- She, X., Yu, L., Lan, G., Tang, Y., and He, Z. 2017. Identification and genetic characterization of *Ralstonia solanacearum* species complex isolates from *Cucurbita maxima* in China. *Frontiers in Plant Science* 1794(8): 1-11.
- Thano, P., and Akarapisan, A. 2018. Phylotype and sequevar of *Ralstonia solanacearum* which causes bacterial wilt in *Curcuma alismatifolia* Gagnep. *Letters in Applied Microbiology* 66: 384-393.
- Xu, J., Pan, Z. C., Prioi, P., Xu, J. S., Zhang, Z., Zhang, H., Zhang, L. Q., He, L. Y., and Feng, J. 2009. Genetic diversity of *Ralstonia solanacearum* strains from China. *European Journal of Plant Pathology* 125: 641-653.
- Yang, W., Xu, Q., Liu, X. H., Wang, P. Y., Wang, M. Y., Yang, T. H., and Guo, H. J. 2012. Evaluation of biological control agents against *Ralstonia* wilt on ginger. *Biological control* 62: 144-151.

วันรับบทความ (Received date) : 11 ก.พ. 65

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 25 มี.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 9 พ.ค. 65

อิทธิพลนาโนเซลลูโลสและสภาพเปียกสลับแห้งต่อความสามารถในการอุ้มน้ำและสภาวะการเกิดเม็ดดินของดินเนื้อละเอียด

The Effect of Nanocellulose and Wetting-Drying Cycle on Water-Holding Capacity and State of Aggregation of Fine-Textured Soil

สุชาดา กรุณา¹ อาณัติ เสงเจริญ¹ และณัฏฐนิชา ธรรมมิญช¹

Suchada Karuna¹, Anut Hengcharoen¹ and Natthanicha Thammincha¹

บทคัดย่อ

การระบายน้ำและอากาศเป็นปัญหาสำคัญของดินเนื้อละเอียดที่ใช้เพาะปลูกพืช เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็ก และรูปร่างเป็นแผ่นอัดตัวแน่นง่าย ทำให้การระบายน้ำและอากาศไม่ดี ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของรากพืชและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน การส่งเสริมการเกิดเม็ดดินในดินเนื้อละเอียดจะช่วยเพิ่มช่องระบายน้ำและอากาศในดินได้ วิธีการปรับปรุงที่นิยมส่วนใหญ่ คือ ใส่อินทรีย์วัตถุหรือสารอินทรีย์ต่าง ๆ ลงไปในดิน ซึ่งใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้นาโนเซลลูโลสและทดสอบอิทธิพลของสภาพเปียกสลับแห้งของดินเมื่อผสมนาโนเซลลูโลสต่อความสามารถในการอุ้มน้ำและสภาวะการเกิดเม็ดดินของดินเนื้อละเอียด โดยผสมดินกับนาโนเซลลูโลส 4 ระดับความเข้มข้น คือ 1, 1.3, 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์ (สัดส่วนนาโนเซลลูโลสต่อดินโดยน้ำหนัก) จากนั้นทำให้ของผสมผ่านสภาพเปียกสลับแห้งจำนวน 3 รอบ ตรวจวัดความสามารถในการอุ้มน้ำ (water-holding capacity; WHC) การเปลี่ยนแปลงขนาดเฉลี่ยเม็ดดินแบบถ่วงน้ำหนัก (change in mean weighted diameter; CMWD) สถานะการเกิดเม็ดดิน (state of aggregation; SA) และการกระจายขนาดของช่องหลังผ่านสภาพเปียกสลับแห้งสามรอบ (pore-size distribution; PSD) ผลการทดลองพบว่า สัดส่วนนาโนเซลลูโลสที่สูง (2 และ 4 เปอร์เซ็นต์) ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำได้มากกว่าสัดส่วนนาโนเซลลูโลสที่ต่ำ (1 และ 1.3 เปอร์เซ็นต์) สภาพการเปียกสลับแห้งที่นานขึ้นทำให้ค่า WHC เพิ่มขึ้น สำหรับสภาวะการเกิดเม็ดดิน นาโนเซลลูโลสในสัดส่วนที่สูง (2 และ 4 เปอร์เซ็นต์) ส่งเสริมสภาวะการเกิดเม็ดดิน (SA สูง) และความคงทนของเม็ดดิน (CMWD น้อย) สภาพการเปียกสลับแห้งที่นานขึ้นทำให้ความคงทนของเม็ดดินลดลง นอกจากนี้พบว่า นาโนเซลลูโลสที่ความเข้มข้นสูงทำให้สัดส่วนช่องระบายน้ำและอากาศในดินเนื้อละเอียด ($> 30 \mu\text{m}$) เพิ่มขึ้นด้วย

คำสำคัญ: นาโนเซลลูโลส เปียกสลับแห้ง ความสามารถในการอุ้มน้ำ สภาวะการเกิดเม็ดดิน ดินเนื้อละเอียด

Abstract

Soil drainage and aeration are critical problems faced when planting crops in fine-textured soils. The small particle size and flattened shape of the particles that make up fine-textured soils cause the soil to be easily compacted. These problems affect root growth and microbial activity. The promotion of granulation in fine-grained soils can enhance levels of drainage and the presence of air pores in the soil. This is generally done by adding organic matter or organic substances to the soil. These practices are effective but can take a long time. In this research, we used nanocellulose to improve the water-holding capacity and state of aggregation of fine-textured soil. The effect of wetting-drying (WD) cycles on these soil properties was investigated as well. Soil samples were mixed with nanocellulose at the ratios of 1, 1.3, 2 and 4 percent (nanocellulose : soil, % w/w). The mixtures were subjected to three wetting-drying cycles, and soil water-holding capacity (WHC), change in mean weighted diameter (CMWD), state of aggregation (SA), and pore-size distribution (after three WD cycles) mixtures were measured. The results showed that high content of nanocellulose (2 and 4 %) increased WHC to a higher degree than did low content (1 and 1.3 %). Moreover, more wetting-drying cycles also enhanced WHC. High nanocellulose content (2 and 4 %) promoted state of aggregation (high SA) and aggregate stability (low CMWD) to a higher degree

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

¹Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140

^{*}Corresponding author, Email: agrscdk@ku.ac.th

than did low content of nanocellulose (1 and 1.3 %). Multiple WDs reduced soil aggregation. Moreover, a high content of nanocellulose enhanced drainage and level of aeration (> 30 mm).

Keyword: nanocellulose, wetting-drying, water-holding capacity, state of aggregation, fine-textured soil

คำนำ

สมบัติฟิสิกส์ของดิน ได้แก่ เนื้อดิน ความหนาแน่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ การระบายน้ำและอากาศ โครงสร้างดิน เป็นสมบัติสำคัญที่ส่งเสริมสมบัติอื่น ๆ ของดิน ไม่ว่าจะเป็นความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช การเจริญเติบโตของรากพืช และกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน (Picek et al., 2000) เนื้อดินเป็นสมบัติฟิสิกส์พื้นฐานที่กำหนดความสามารถในการเก็บกักน้ำและธาตุอาหาร การระบายน้ำและอากาศ นอกจากนี้ โครงสร้างดินก็มีความสำคัญต่อการเก็บกักน้ำ (water retention) การแทรกซึม น้ำ (infiltration) การระบายน้ำ และการถ่ายเทอากาศ (aeration) ภายในดินเช่นเดียวกัน (พิมพันธ์ เจริญสวัสดิพงษ์, 2549) ดินเนื้อละเอียดแม้จะเป็นดินที่มีความสามารถในการเก็บกักธาตุอาหารและน้ำไว้ได้สูง แต่ปัญหาสำคัญของดินชนิดนี้ คือ การระบายน้ำและอากาศไม่ดี ส่วนมากน้ำที่เก็บไว้ในช่องขนาดเล็กมากพืชไม่สามารถดึงไปใช้ได้ เนื่องจากดินมีอนุภาคขนาดเล็ก มีรูปร่างแบนแผ่นอัดตัวแน่นได้ง่าย ช่องขนาดเล็กมีแรงดึงน้ำสูงมาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของรากพืชและการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างดินกับบรรยากาศ การแก้ปัญหานี้ส่วนใหญ่จะทำการปรับปรุงโครงสร้างของดิน ทำให้อนุภาคดินเหนียวเกาะยึดกันเป็นเม็ดดินขนาดเล็กที่มีความคงทน ส่งผลให้สัดส่วนช่องระบายน้ำและอากาศของดินเพิ่มมากขึ้น วิธีการปฏิบัติโดยทั่วไป คือ ใส่อินทรีย์วัตถุลงไปในดินซึ่งใช้เวลาค่อนข้างนานจึงจะเห็นผล ดังนั้นการหาวัสดุอินทรีย์อื่น ๆ ที่สามารถปรับปรุงสมบัติดังกล่าวของดินได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้เวลาสั้นลง จึงเป็นโจทย์วิจัยที่ท้าทาย นาโนเซลลูโลสเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาติและมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม ด้วยสมบัติที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงถึง 153-284 ตร.ม. ต่อ ก. (Sehaqui et al., 2011) สามารถดูดซับน้ำได้มากถึงร้อยละร้อยเท่าโดยน้ำหนัก (Jiang and Hsieh, 2014) เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Bauli et al., 2021) นอกจากนี้นาโนเซลลูโลสยังใช้เป็นสารเชื่อมเกาะยึดอนุภาคดินได้ด้วย เช่นในพื้นที่แห้งแล้งของประเทศจีนได้มีการนำนาโนเซลลูโลสมาใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการเก็บน้ำและการเกาะยึดกันของอนุภาคดินช่วยลดการเคลื่อนย้ายอนุภาคโดยลมและช่วยชะลอการเกิดสภาพทะเลทรายได้อีกด้วย แม้จะได้ผลดีแต่ต้นทุนนาโนเซลลูโลสค่อนข้างสูงเพราะยังมีการผลิตน้อย (Yi and Zhao, 2016) จากการศึกษาของ Demitri et al. (2013) พบว่า การใช้ cellulose-based superabsorbent hydrogel ช่วยเพิ่มความสามารถในการเก็บน้ำของดินและรักษาระดับความชื้นในดินได้ยาวนานขึ้น และ Bauli et al. (2021) รายงานว่า การใช้ carboxymethyl cellulose (CMC) hydrogel ผสมนาโนเซลลูโลสและแบรินเหนียวชนิดต่าง ๆ ที่มีสมบัติในการดูดซับสูง จากนั้นนำไปผสมกับดินในเขตแห้งแล้ง พบว่า ตำรับที่มีนาโนเซลลูโลสสามารถเพิ่มความสามารถในการเก็บน้ำและรักษาความชื้นในดินได้ยาวนานขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มการยึดเกาะของอนุภาคดินให้เป็นเม็ดดินที่มีความคงทน ซึ่งช่วยลดปัญหาการกร่อนดินในพื้นที่ดังกล่าวได้อีกด้วย แม้ว่านาโนเซลลูโลสจะเป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพสูงใช้เวลาน้อยในการปรับปรุงดิน แต่การนำมาใช้งานทางด้านการเกษตรยังมีการศึกษาค้นคว้าค่อนข้างน้อยในประเทศไทย เนื่องจากยังมีราคาค้นทุนการผลิตสูง หากมีการศึกษาและมีผลการทดลองที่สนับสนุนมากขึ้น อาจจะนำมาซึ่งความร่วมมือของหน่วยงานต่าง ๆ ในการพัฒนาเพื่อให้ต้นทุนนาโนเซลลูโลสลดลงและเป็นประโยชน์ต่อการเกษตรมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้นาโนเซลลูโลสกับงานทางด้านการเกษตร โดยนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงดินทำหน้าที่สารเชื่อมอนุภาคดินเหนียวเพื่อส่งเสริมการเกิดโครงสร้างหรือเม็ดดินขนาดเล็ก ที่จะช่วยเพิ่มความสามารถในการระบายน้ำและอากาศของดินเนื้อละเอียด เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ใช้ดินเนื้อละเอียด ชุดดินตาคลี (Tk), Loamy-skeletal, carbonatic, isohyperthermic Entic Haplustolls พิกัด ละติจูด 14.8735099 และลองจิจูด 99.7107238 ในพื้นที่ ต.หนองมะค่าโมง อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว (clay) ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินประกอบด้วยอนุภาคทราย 14.37 เปอร์เซ็นต์ ทรายแป้ง 25.20 เปอร์เซ็นต์ และดินเหนียว 60.43 เปอร์เซ็นต์ นำตัวอย่างดินมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. ใช้ตัวอย่างดิน 100 ก. ผสมกับนาโนเซลลูโลส (สนับสนุนผลิตภัณฑ์นาโนเซลลูโลสโดย บริษัท ภัทร จักรดำ) โดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ประกอบด้วยอัตราส่วนความเข้มข้นของนาโนเซลลูโลส 4 ระดับ ดังนี้ 1, 1.3, 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์ (ร้อยละของนาโนเซลลูโลสต่อดินโดยน้ำหนัก) คลุกเคล้าดินและนาโนเซลลูโลสให้เข้ากันทิ้งไว้ประมาณ 1 วัน แล้วนำเข้าสู่อบอุณหภูมิ 105

องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน (การทดสอบความสามารถในการอุ้มน้ำต้องทำให้ของผสมแห้งใกล้เคียงกันเมื่อเริ่มต้น) เมื่อของผสมเย็นทำการบดและร่อนตัวอย่างของผสมผ่านตะแกรงขนาด 8 มม. (ขนาดโตที่สุดของโครงสร้างดินแบบเม็ดดินที่ใช้ทดสอบ) นำส่วนผสมไปตรวจวัดความสามารถในการอุ้มน้ำ (water-holding capacity; WHC) (Williams et al., 1983; Hazelton and Murphy, 2007) ส่วนผสมที่ผ่านขั้นตอนนี้ถือว่าผ่านสภาพเปียกแล้วหนึ่งครั้ง จากนั้นทำให้ส่วนผสมแห้งโดยการผึ่งลมประมาณ 2-3 วัน จะได้ตัวอย่างที่ผ่านสภาพเปียกสลับแห้ง (wetting-drying cycle; WD) รอบที่ 1 ปฏิบัติเช่นเดียวกันในรอบที่ 2 และ 3 ตามลำดับ (แต่ละรอบการแห้งตัวอย่างของผสมจะเหลือความชื้นโดยมวลไม่เกิน 0.35 กรัมของน้ำต่อกรัมของดินแห้ง) ตัวอย่างของผสมที่ผ่านสภาพเปียกสลับแห้งในแต่ละรอบจะถูกนำไปร่อนแบบแห้งและแบบเปียก เพื่อประเมินขนาดเฉลี่ยของเม็ดดินแบบถ่วงน้ำหนัก (mean weighted diameter; MWD_{dry} and MWD_{wet}) จากนั้นจึงประเมินสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ 1) การเปลี่ยนแปลงขนาดเฉลี่ยเม็ดดินแบบถ่วงน้ำหนัก (change in mean weighted diameter, $CMWD = MWD_{dry} - MWD_{wet}$) โดยที่ $CMWD$ มีค่าน้อย หมายถึง เม็ดดินมีความคงทนแม้ผ่านการร่อนในน้ำ 2) ประเมินสถานะการเกิดเม็ดดินจากน้ำหนักดินในแต่ละชั้นตะแกรงที่ผ่านการร่อนแบบเปียก (state of aggregation; SA หมายถึง เปอร์เซ็นต์โดยมวลของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่าขนาดมาตรฐาน 1 มม.) (สัญญาธิ์ ภูเงิน, 2558; Field et al., 1997; Hazelton and Murphy, 2007) (ค่า $CMWD$ และ SA ประเมินโดยการชั่งน้ำหนักดินที่ค้างบนตะแกรงขนาดต่าง ๆ ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง) และ 3) การกระจายขนาดของช่อง (pore-size distribution) โดยนำตัวอย่างของผสมที่ผ่านสภาพเปียกสลับแห้งสามรอบมาหาเส้นโค้งลักษณะความชื้นของดิน (soil water characteristic) จากนั้นจึงประเมินเป็นสัดส่วนช่องแบ่งออกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ โตกว่า $30\ \mu m$ (macropore), $30-0.2\ \mu m$ (mesopore) และ เล็กกว่า $0.2\ \mu m$ (micropore) วิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะที่ศึกษา (F-test) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

อิทธิพลของสัดส่วนนาโนเซลลูโลสต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ

การเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (water-holding capacity; WHC) ของดินเนื้อละเอียดเมื่อผสมนาโนเซลลูโลสในสัดส่วนต่าง ๆ ภายใต้สภาพการเปียกสลับแห้ง (wetting-drying; WD) (Table 1) พบว่า ภายใต้สภาพเปียกสลับแห้งรอบที่ 1 และ 2 ค่าเฉลี่ย WHC ทุกระดับความเข้มข้นของนาโนเซลลูโลสไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ในรอบที่ 3 พบว่า ค่าเฉลี่ย WHC มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P\text{-value} < 0.05$) หากพิจารณาค่าเฉลี่ย WHC ทั้ง 3 รอบการเปียกสลับแห้ง ที่ความเข้มข้นของนาโนเซลลูโลสทั้ง 4 ระดับ พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P\text{-value} < 0.05$) โดยที่สัดส่วนของนาโนเซลลูโลสที่ความเข้มข้นสูงสุด (4 เปอร์เซ็นต์) ให้ค่าเฉลี่ยของ WHC มากที่สุดอยู่ที่ 61 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ย WHC เท่ากับ 53 เปอร์เซ็นต์ ที่สัดส่วนนาโนเซลลูโลส 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ย WHC เท่ากับ 52 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วน 1.3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ย WHC น้อยที่สุด เท่ากับ 51 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ความเข้มข้นของนาโนเซลลูโลส 1, 1.3 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อาจกล่าวได้ว่า ค่า WHC ของดินเนื้อละเอียดจากการทดลองนี้มีค่าผันแปรโดยตรงตามปริมาณนาโนเซลลูโลส ที่ความเข้มข้นนาโนเซลลูโลสสูงทำให้ค่า WHC สูงด้วย ทั้งนี้เนื่องจากนาโนเซลลูโลสมีพื้นที่ผิวจำเพาะค่อนข้างสูงมาก (153-284 ตร.ม. ต่อ ก.) มีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลของน้ำได้สูงถึง 100 เท่า (Sehaqui et al., 2011; Jiang and Hsieh, 2014; Abitbol et al., 2016) มีพื้นที่ผิวเป็นกลุ่มไฮดรอกซิลเมื่อแตกตัวจับกับโมเลกุลไฮโดรเจนของน้ำได้ ทำให้เมื่อผสมกับดินจึงทำให้ค่า WHC สูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Choudhary et al. (1995) ที่กล่าวว่า สัดส่วนของนาโนเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเพิ่มขึ้นด้วย อีกงานวิจัยของ Demitri et al. (2013) ที่ทำการศึกษาศักยภาพของ cellulose-based superabsorbent hydrogels ซึ่งพบว่า นาโนเซลลูโลสสามารถเพิ่มการดูดซับน้ำและรักษาระดับความชื้นในดินได้ยาวนานขึ้น และ Barajas-Ledesma et al. (2021) พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ carboxylated nanocellulose superabsorbent (SAP) ลงไปในดิน SAP ช่วยเพิ่มแรงดูดซับน้ำในดินและรักษาระดับความชื้นในดินได้ยาวนานขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ Bauli et al. (2021) รายงานว่า carboxymethyl cellulose (CMC) ที่ผสมนาโนเซลลูโลสและแบรินเหนียวในระดับที่แตกต่างกันนั้น ดำรับที่มีนาโนเซลลูโลสสามารถเพิ่มการดูดซับน้ำได้ดี

Table 1 Statistical analysis of water-holding capacity of fine-textured soil mixed with nanocellulose in different ratios under wetting-drying cycle (WD1 = 1st wetting-drying, WD2 = 2nd wetting-drying, WD3 = 3rd wetting-drying).

Nanocellulose ratios (%)	Water-holding capacity (%)			mean WHC
	WD1	WD2	WD3	
1	47.2	50.2	62.9ab	53.4
1.3	51.3	47.9	54.3a	51.2
2	52.5	50.8	51.4a	51.7
4	57.5	53.2	72.3c	60.9
F-test	ns	ns	*	
P-value	0.25	0.90	0.04	

* = Significant difference at $P < 0.05$, ns = non-significant difference.

Different letters within a column indicate significant difference at $P < 0.05$ by Duncan's new multiple range test.

อิทธิพลของสภาพเปียกสลับแห้งต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ

พิจารณาอิทธิพลของสภาพเปียกสลับแห้งต่อค่า WHC ของดินเนื้อละเอียดเมื่อผสมกับนาโนเซลลูโลส (Table 2) พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นนาโนเซลลูโลสต่ำ (1 เปอร์เซ็นต์) และ สูง (4 เปอร์เซ็นต์) ให้ค่าเฉลี่ย WHC ในแต่ละรอบการเปียกสลับแห้งแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ 1.3 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ย WHC ไม่แตกต่างกันในแต่ละรอบเปียกสลับแห้ง หากพิจารณาค่าเฉลี่ยทุกระดับความเข้มข้นภายใต้สภาพการเปียกสลับแห้ง พบว่า ค่าเฉลี่ย WHC แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่สภาพเปียกสลับแห้ง 3 รอบ มีค่าเฉลี่ย WHC สูงที่สุดซึ่งมีค่าประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ 1 รอบ (52 เปอร์เซ็นต์) และ 2 รอบ (50 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ จากกราฟ (Figure 2) อาจกล่าวได้ว่า สภาพเปียกสลับแห้ง 1 ถึง 2 รอบนั้น ให้ค่าเฉลี่ย WHC ที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย (ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ) ส่วนรอบที่ 3 ให้ค่า WHC ที่ค่อนข้างสูงกว่า 2 รอบแรก (มีความแตกต่างทางสถิติ) สอดคล้องกับรายงานของ Sayem and Kong (2016) ที่ศึกษาอิทธิพลของการเปียกสลับแห้ง 8 รอบต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นโค้งลักษณะความชื้นดิน (soil-water characteristic curve) กล่าวว่า สภาพการเปียกสลับแห้งในรอบแรกนั้นค่า WHC ของดินมีความแปรปรวนค่อนข้างสูงแต่ค่าดังกล่าวจะสมดุลเมื่อผ่านรอบการเปียกสลับแห้งอย่างน้อย 4 รอบขึ้นไป และงานวิจัยของ Zhang et al. (2018) ที่รายงานว่า ความสามารถในการเก็บน้ำของดินมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยในช่วง 1-3 รอบ ของสภาพเปียกสลับแห้งจากการทดลองทั้งหมด 9 รอบ ความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุดของดินจะเริ่มเกิดขึ้นในรอบที่ 4 ของสภาพเปียกสลับแห้ง ดังนั้น การเพิ่มรอบการเปียกสลับแห้งให้มากขึ้นกับตัวอย่างดินที่ผสมนาโนเซลลูโลสมีแนวโน้มที่จะทำให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีขึ้น ทั้งนี้สอดคล้องกับผลวิจัยของ Choudhary et al. (1995) ที่ทำการทดสอบวัสดุโพลีเมอร์ที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงภายใต้สภาพเปียกสลับแห้ง 16 รอบในดินเนื้อปูน (calcareous soil) ซึ่งผลการทดลองชี้ว่าความเข้มข้นของสารโพลีเมอร์ที่ใส่ลงไปในดินช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดินได้ ช่วยลดการระเหยน้ำจากผิวดิน รักษาระดับความชื้นในดินได้ยาวนานขึ้น

Table 2 The effect of wetting drying cycles on water-holding capacity of fine-textured soil mixed with nanocellulose in different ratios.

wetting-drying cycle	Nanocellulose ratios (%)				mean WHC
	1	1.3	2	4	
WD1	47.19a	51.25	52.53	57.47a	52.1
WD2	50.15a	47.93	50.81	53.22a	50.5
WD3	62.87b	54.35	51.43	72.30b	60.2
F-test	*	ns	ns	*	
P-value	0.03	0.65	0.94	0.04	

* = Significant difference at $P < 0.05$, ns = non-significant difference.

Different letters within a column indicate significant difference at $P < 0.05$ by Duncan's new multiple range test.

อิทธิพลของสัดส่วนนาโนเซลลูโลสต่อสถานะการเกิดเม็ดดิน

การเปลี่ยนแปลงขนาดเฉลี่ยเม็ดดินแบบถ่วงน้ำหนัก (change in mean weighted diameter; CMWD) และสถานะการเกิดเม็ดดิน (state of aggregation; SA) (Table 3) เป็นดัชนีประเมินโครงสร้างดินในกรณีศึกษา ซึ่งค่า CMWD ที่น้อยแสดงถึงความคงทนต่อการสลายตัวของเม็ดดินในน้ำ ผลการศึกษาพบว่า สัดส่วนของนาโนเซลลูโลสมีผลต่อค่า CMWD ของดินเนื้อละเอียดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P -value < 0.05) ในทุกรอบของสภาพการเปียกสลับแห้ง โดยที่สัดส่วนนาโนเซลลูโลสที่ความเข้มข้นสูง (2 และ 4 เปอร์เซ็นต์) ทำให้ค่า CMWD น้อยกว่าที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (1 และ 1.3 เปอร์เซ็นต์) สำหรับค่า CMWD ที่น้อยที่สุดเท่ากับ 1 มม. ซึ่งเกิดขึ้นในรอบที่ 2 ของการเปียกสลับแห้ง สำหรับความเข้มข้นนาโนเซลลูโลสที่ต่ำ (1 เปอร์เซ็นต์) ค่าเฉลี่ย CMWD พบว่า มีค่ามากที่สุด ในทุกรอบการเปียกสลับแห้ง (ค่า CMWD เท่ากับ 3.1 2.9 และ 3.2 มม. สำหรับการเปียกสลับแห้ง 1, 2 และ 3 รอบ ตามลำดับ) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของนาโนเซลลูโลสที่เข้มข้นจะส่งผลให้โครงสร้างดินที่แข็งแรง มีความคงทนต่อการสลายตัวในน้ำ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Bauli et al. (2021) กล่าวว่า การใช้ carboxymethyl cellulose (CMC) hydrogel ผสมนาโนเซลลูโลสและแร่ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ ช่วยเพิ่มการยึดเกาะของอนุภาคดินให้เป็นเม็ดดินที่มีความคงทน ทั้งนี้เนื่องจากนาโนเซลลูโลสเป็นสารอินทรีย์ทำหน้าที่สารเชื่อมคล้ายอินทรีย์วัตถุ มีพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงทำให้สามารถเชื่อมยึดอนุภาคดินให้เกาะยึดกันด้วยพันธะที่แข็งแรง (Phanthong et al., 2018) เกิดเป็นเม็ดดินที่มีความคงทนมากขึ้น ไม่แตกสลายง่ายในน้ำ นาโนเซลลูโลสที่มีปริมาณมากเสมือนมีอินทรีย์วัตถุในดินมากทำให้อนุภาคของดินเหนียวเกิดการรวมกลุ่มกันได้ดีกว่าปริมาณนาโนเซลลูโลสที่น้อย

เมื่อพิจารณาสถานะการเกิดเม็ดดิน (SA) (Table 3) ซึ่งในที่นี้ใช้สัดส่วนร้อยละโดยมวลของเม็ดดินที่มีขนาดโตกว่า 1 มม. แสดงถึงสถานะการเกิดเม็ดดิน ผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของนาโนเซลลูโลสส่งผลต่อค่า SA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 1) โดยที่ขึ้นอยู่กับการเปียกสลับแห้ง กล่าวคือ การเปียกสลับแห้งรอบแรกที่ระดับ ความเข้มข้นของนาโนเซลลูโลสสูง (2 และ 4 เปอร์เซ็นต์) ให้ค่าเฉลี่ย SA สูงด้วยเช่นกัน (ค่า SA เท่ากับ 61.4 และ 59.8 เปอร์เซ็นต์) และสูงกว่าที่ความเข้มข้นนาโนเซลลูโลสต่ำ โดยที่ระดับความเข้มข้นนาโนเซลลูโลส 1.3 เปอร์เซ็นต์ มีค่า SA เท่ากับ 45.3 เปอร์เซ็นต์ และที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่า SA เท่ากับ 53.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการเปียกสลับแห้งรอบที่ 2 ความเข้มข้นนาโนเซลลูโลสที่สูงที่สุด (4 เปอร์เซ็นต์) ให้ค่าเฉลี่ย SA สูงที่สุดเท่ากับ 72.1 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (44.5 เปอร์เซ็นต์), 1.3 เปอร์เซ็นต์ (43.8 เปอร์เซ็นต์) และ 1 เปอร์เซ็นต์ (40.2 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ และสำหรับการเปียกสลับแห้งรอบที่ 3 ความเข้มข้นนาโนเซลลูโลสที่ 2 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าเฉลี่ย SA สูงที่สุดเท่ากับ 61.4 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือที่ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ (52.2 เปอร์เซ็นต์), 1 เปอร์เซ็นต์ (29.4 เปอร์เซ็นต์) และ 1.3 เปอร์เซ็นต์ (18.7 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ความเข้มข้นนาโนเซลลูโลสที่สูง (2 และ 4 เปอร์เซ็นต์) ส่งผลให้ดินเนื้อละเอียดมีสถานะของการเกิดเม็ดดินและเม็ดดินที่คงทนดีกว่าระดับความเข้มข้นของนาโนเซลลูโลสต่ำ (1 และ 1.3 เปอร์เซ็นต์) ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากนาโนเซลลูโลสทำหน้าที่เสมือนสารเชื่อมอินทรีย์มีพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรง และพื้นที่ผิวของนาโนเซลลูโลสช่วยดูดซับน้ำไว้และกระจายความชื้นบนผิวอนุภาคดินจะส่งเสริมการเกาะยึดของอนุภาคดินเหนียวให้เกาะยึดกันเกิดโครงสร้างเป็นเม็ดดิน (Cao et al., 2017; Phanthong et al., 2018)

Table 3 Change in mean weighted diameter (CMWD) and state of aggregation (SA) of fine-textured soil mixed with nanocellulose in different ratios under wetting-drying cycle.

Nanocellulose ratios (%)	CMWD ^{1/} (mm)			SA ^{2/} (%)		
	WD1	WD2	WD3	WD1	WD2	WD3
1	3.1d	2.9d	3.2bc	53.6b	40.2a	29.4b
1.3	2.6c	1.8bc	3.5c	45.3a	43.8b	18.7a
2	1.5ab	2.2c	2.9a	61.4d	44.5bc	61.4d
4	1.7a	1.1a	2.9a	59.8cd	72.1d	52.2c
F-test	**	**	*	**	**	**
P-value	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00

^{1/}CMWD = Change in mean weighted diameter (CMWD = $MWD_{dry} - MWD_{wet}$).

^{2/}SA = State of aggregation (percentage of aggregation size > 1mm).

* = Significant difference at $P < 0.05$, ** = Significant difference at $P < 0.01$, ns = non-significant difference.

Different letters within a column indicate significant difference at $P < 0.05$ by Duncan's new multiple range test.

Table 4 Change in mean weighted diameter (CMWD) and state of aggregation (SA) under wetting-drying cycle of each nanocellulose ratio.

wetting-drying cycle	CMWD ^{1/} (mm)				SA ^{2/} (%)			
	1%	1.3%	2%	4%	1%	1.3%	2%	4%
WD1	3.1	2.5b	1.4a	1.7b	53.6c	45.3c	61.4b	59.8b
WD2	2.9	1.8a	2.2b	1.1a	40.2b	43.8bc	44.5a	72.1c
WD3	3.2	3.5c	2.9c	2.9c	29.4a	18.7a	61.4b	52.2a
F-test ^{1/}	ns	**	**	**	**	**	*	**
P-value	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00

^{1/}CMWD = Change in mean weighted diameter (CMWD = $MWD_{dry} - MWD_{wet}$).

^{2/}SA = State of aggregation (percentage of aggregation size > 1mm).

* = Significant difference at $P < 0.05$, ** = Significant difference at $P < 0.01$, ns = non-significant difference.

Different letters within a column indicate significant difference at $P < 0.05$ by Duncan's new multiple range test.

อิทธิพลของสภาพการเปียกสลับแห้งต่อสถานะการเกิดเม็ดดิน

พิจารณาอิทธิพลของสภาพเปียกสลับแห้งต่อสถานะการเกิดเม็ดดิน (Table 4) พบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า CMWD และ SA ในแต่ละรอบการเปียกสลับแห้งขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของนาโนเซลลูโลส กล่าวคือ ค่าเฉลี่ย CMWD ที่ระดับความเข้มข้นของนาโนเซลลูโลสต่ำ (1 เปอร์เซ็นต์) ทั้งสามรอบการเปียกสลับแห้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ในขณะที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น (1.3, 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์) พบว่า ค่าเฉลี่ย CMWD ในแต่ละรอบการเปียกสลับแห้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P\text{-value} < 0.05$) โดยที่การเปียกสลับแห้งรอบที่ 3 จะให้ค่าเฉลี่ยของ CMWD สูงกว่าสองรอบแรก ค่า CMWD ที่มากขึ้นชี้ให้เห็นว่า รอบการเปียกสลับแห้งที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้เม็ดดินสลายตัวในน้ำมากขึ้นหรือเม็ดดินมีความคงทนลดลง Tang et al. (2016) รายงานว่า สภาพการเปียกสลับแห้งของดินเหนียวในสภาพแปลงช่วงเริ่มต้นก่อนถึงรอบที่สาม ช่วงแห้งความกว้างของรอยแตกเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ขนาดเม็ดดินเฉลี่ยจะลดลงตามจำนวนรอบการเปียกสลับแห้งเพิ่มขึ้น

สำหรับค่าเฉลี่ย SA พบว่า ในแต่ละรอบการเปียกสลับแห้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P\text{-value} < 0.05$) โดยที่ระดับความเข้มข้นของนาโนเซลลูโลสต่ำ (1 และ 1.3 เปอร์เซ็นต์) ค่าเฉลี่ย SA สูงสุดที่รอบแรกของการเปียกสลับแห้ง (53.6 และ 45.3 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้น 1 และ 1.3 ตามลำดับ) และลดลงตามจำนวนรอบการเปียกสลับแห้งที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีการสลายตัวของเม็ดดินในน้ำ จึงทำให้สัดส่วนของเม็ดดินที่โตกว่ามาตรฐาน (1 มม.) มีปริมาณลดลง อาจเนื่องจากการเกาะยึดกันของอนุภาคดินเป็นการเกาะตัวแบบหลวม ๆ เพราะสารเชื่อมมีปริมาณน้อยและระยะเวลาการเกิดเม็ดดินไม่ยาวนาน สภาพการเปียกสลับแห้งหลายรอบส่งผลให้สารเชื่อมละลายและเสื่อมสภาพ (Neramitkornburi et al., 2015) ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของนาโนเซลลูโลสที่สูง (2 และ 4 เปอร์เซ็นต์) พบว่า ค่าเฉลี่ย SA ไม่ได้ผันแปรตามจำนวนรอบของการเปียกสลับแห้ง เนื่องจากในดินยังมีปริมาณสารเชื่อมที่คงอยู่ในดินยังทำหน้าที่ยึดเกาะอนุภาคดินไว้ด้วยกัน

การกระจายขนาดของช่องของดินผสมนาโนเซลลูโลสภายใต้สภาพการเปียกสลับแห้งสามรอบ

วัดการกระจายขนาดของช่อง (pore-size distribution; PSD) ในดินเนื้อละเอียดที่ผสมนาโนเซลลูโลสในสัดส่วนต่าง ๆ (Figure 1) หลังผ่านสภาพเปียกสลับแห้ง 3 รอบ ผลการทดลองพบว่า สัดส่วนของช่องขนาดใหญ่ ($> 30 \mu\text{m}$) เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของนาโนเซลลูโลสที่มากขึ้น กล่าวคือ ที่ความเข้มข้นของนาโนเซลลูโลสต่ำ (1 เปอร์เซ็นต์) มีสัดส่วนของช่องขนาดใหญ่เท่ากับ 26.96 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น 1.3, 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์ มีสัดส่วนช่องขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 28.94, 34.25 และ 39.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่สัดส่วนของช่องขนาดกลาง ($30\text{--}0.2 \mu\text{m}$) ไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของนาโนเซลลูโลส โดยพบว่า สัดส่วนของช่องขนาดกลางในทุกระดับความเข้มข้นมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 21.34–22.77 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสัดส่วนของช่องขนาดเล็ก ($< 0.2 \mu\text{m}$) พบว่า มีค่าลดลงตามความเข้มข้นนาโนเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนช่องขนาดเล็กมีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ (50.27 เปอร์เซ็นต์) และมีค่าต่ำสุดที่ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ (38.72 เปอร์เซ็นต์) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ปริมาณนาโนเซลลูโลสที่มากขึ้นสามารถส่งเสริมการเกาะยึดกันของอนุภาคดินเหนียวจน

เกิดเป็นเม็ดดินและส่งผลให้เกิดช่องว่างขนาดใหญ่ในดินชนิดนี้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kalkan (2011) ที่ศึกษาผลกระทบการเปียกสลับแห้งต่อการยึดตัวของดินเหนียว รายงานว่า การเปียกสลับแห้งตามธรรมชาติมีผลต่อการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของดิน และมีช่องว่างขนาดใหญ่ในดินเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนนี้จะเกิดขึ้นหลังจากการเปียกสลับแห้งมากกว่า 3 รอบขึ้นไป ในงานวิจัยของ Bodner et al. (2013) ที่รายงานว่า วัฏจักรการเปียกสลับแห้งของดินมีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของดิน ซึ่งความถี่ของรอบการเปียกสลับแห้งคือ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการกระจายขนาดของช่องในดิน จำนวนรอบของสภาพเปียกสลับแห้งที่เพิ่มขึ้นช่วยส่งเสริมการเกิดช่องขนาดใหญ่ในดินได้ Tang et al. (2011) ได้ทำการตรวจสอบผลของการเปียกสลับแห้งจำนวน 5 รอบ ต่อการเกิดรอยแตกในชั้นดินเหนียวในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองพบว่า การเปียกสลับแห้งหลาย ๆ รอบ ส่งผลต่อการเกิดรอยแตกในชั้นดินเหนียว จำนวนรอบของการเปียกสลับแห้งก็ส่งผลต่อขนาดและความลึกของรอยแยกนั้นเช่นกัน ซึ่งหมายถึงการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนช่องขนาดใหญ่ในดินเหนียว

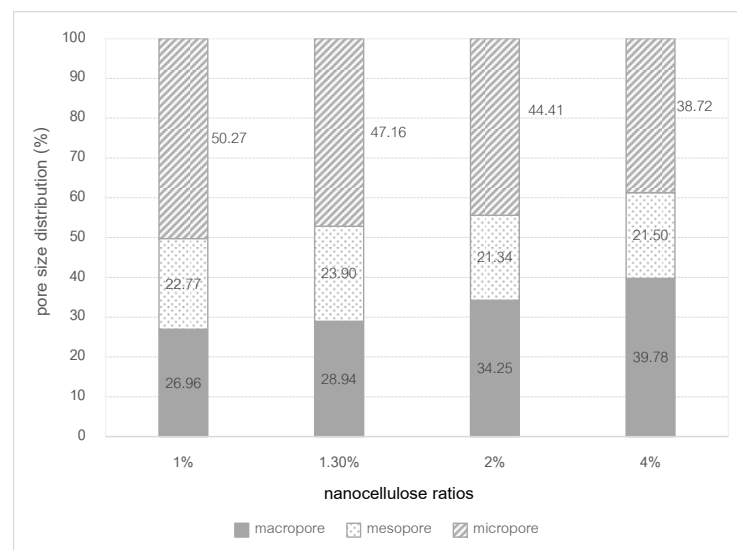


Figure 1 Pore size distribution of fine-textured soil under wetting-drying cycle; macropore ($> 30 \mu\text{m}$), mesopore ($30\text{--}0.2 \mu\text{m}$) and micropore ($< 0.2 \mu\text{m}$).

สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า นาโนเซลลูโลสมีสมบัติช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเนื้อละเอียดได้ ความเข้มข้นของนาโนเซลลูโลสที่สูง (2 และ 4 เปอร์เซ็นต์) ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเพิ่มขึ้นมากกว่าความเข้มข้นที่ต่ำ (1 และ 1.3 เปอร์เซ็นต์) ส่วนสภาพการเปียกสลับแห้งมีอิทธิพลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเพียงเล็กน้อย โดยที่ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อสภาพการเปียกสลับแห้งหลายรอบ ในกรณีของสภาวะการเกิดเม็ดดิน พบว่า นาโนเซลลูโลสส่งเสริมการเกิดสภาวะเม็ดดินหรือโครงสร้างดินที่ดีในดินเนื้อละเอียด โดยที่ความเข้มข้นของนาโนเซลลูโลสสูง (2 และ 4 เปอร์เซ็นต์) ส่งผลต่อการเกิดสภาวะเม็ดดินและทำให้เม็ดดินมีความคงทนต่อการสลายตัวในน้ำ ส่วนสภาพเปียกสลับแห้ง พบว่ามีอิทธิพลต่อการเกิดสภาวะเม็ดดิน ผลการทดลองชี้ว่า ถ้าจำนวนรอบของการเปียกสลับแห้งมากขึ้น จะส่งผลต่อสภาวะการเกิดเม็ดดินและความคงทนของเม็ดดินลดลง นอกจากนี้ นาโนเซลลูโลสยังสามารถเพิ่มสัดส่วนของช่องขนาดใหญ่ในดินเนื้อละเอียดได้ด้วย ดังนั้นนาโนเซลลูโลสสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารปรับปรุงบำรุงดินเนื้อละเอียดได้ โดยทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมอนุภาคดินให้เกาะยึดกันเป็นเม็ดดินที่คงทน แข็งแรง และส่งผลให้ดินเนื้อละเอียดมีโครงสร้างดินที่ดี มีการระบายน้ำและอากาศดีขึ้นด้วย หากมีการขยายผลการศึกษาการใช้วัสดุนาโนเซลลูโลสร่วมกับการไถพรวนที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดสภาพการเปียกสลับแห้งที่สมดุล อาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการโครงสร้างของดินเนื้อละเอียดได้ดียิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ บริษัท ภัทร จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัยและผลิตภัณฑ์นาโนเซลลูโลส ขอบพระคุณภาควิชา ปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ของดิน สำหรับการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น*. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิมพ์นธ์ เจริญสวัสดิพงษ์. 2549. *สมบัติและสภาวะทางฟิสิกส์ของดิน*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สัญชัย ภูเงิน. 2558. *คู่มือปฏิบัติการ วิชาการวิเคราะห์ดินทางฟิสิกส์*. นครปฐม: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Abitbol, T., Rivkin, A., Cao, Y., Nevo, Y., Abraham, E., Ben-Shalom, T., Lapidot, S., and Shoseyov, O. 2016. Nanocellulose, a tiny fiber with huge applications. *Current Opinion in Biotechnology* 39: 76-88.
- Bauli, C.R., Lima, G.F., de Souza, A.G., Ferreira, R.R., and Rosa, D.S. 2021. Eco-friendly carboxymethyl cellulose hydrogels filled with nanocellulose or nanoclays for agriculture applications as soil conditioning and nutrient carrier and their impact on cucumber growing. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 623: 126771. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.126771> (8 September 2021).
- Bodner, G., Scholl, P., and Kaul, H.P. 2013. Field quantification of wetting–drying cycles to predict temporal changes of soil pore size distribution. *Soil & Tillage Research* 133(2013): 1-9.
- Cao, Y., Wang, B., Guo, H., Xiao, H., and Wei, T. 2017. The effect of super absorbent polymers on soil and water conservation on the terraces of the loess plateau. *Ecological Engineering* 102(2017): 270-279.
- Choudhary, M.I., Shalaby, A.A., and Al-Omran, A.M. 1995. Water holding capacity and evaporation of calcareous soils as affected by four synthetic polymers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26(13-14): 2205-2215.
- Demitri, C., Scalera, F., Madaghiele, M., Sannino, A., and Maffezzoli, A. 2013. Potential of cellulose-based superabsorbent hydrogels as water reservoir in agriculture. *International Journal of Polymer Science* 2013: 1-6.
- Field, D. J., McKenzie, D. C., and Koppi, A. J. 1997. Development of an improved vertisol stability test for SOILpak. *Australian Journal of Soil Research* 35: 843-852.
- Hazelton, P., and Murphy, B. 2007. Water-holding properties. In *Interpreting Soil Test Results: What do all the numbers mean?*. Australia: CSIRO Publishing.
- Jiang, F., and Hsieh, Y. 2014. Super water absorbing and shape memory nanocellulose aerogels from TEMPO-oxidized cellulose nanofibrils via cyclic freezing–thawing. *Journal of Materials Chemistry A* 2: 350-359.
- Kalkan, E. 2011. Impact of wetting–drying cycles on swelling behavior of clayey soils modified by silica fume. *Applied Clay Science* 52: 345-352.
- Neramitkornburi, A., Horpibulsuk, S., Shen, S.L., Chinkulkijniwat, A., Arulrajah, A., and MiriDisfani, M. 2015. Durability against wetting–drying cycles of sustainable lightweight cellular cemented construction material comprising clay and fly ash wastes. *Construction and Building Materials* 77(2015): 41-49.
- Phanthong, P., Reubroycharoen, P., Hao, X., Xu, G., Abudula, A., and Guan, G. 2018. Nanocellulose: extraction and application. *Carbon Resources Conversion* 1(2018): 32-43.
- Picek, T., Šimek, M., and Šantrúcková, H. 2000. Microbial responses to fluctuation of soil aeration status and redox conditions. *Biology and Fertility of Soils* 31: 315-322.
- Sayem, H. M., and Kong, L. 2016. Effects of drying-wetting cycles on soil-water characteristic curve. In *2016 International Conference on Power Engineering & Energy, Environment (PEEE 2016)* ISBN: 978-1-60595-376-2.
- Sehaqui, H., Zhou, Q., Ikala, O., and Berglund, L.A. 2011. Strong and tough cellulose nanopaper with high specific surface area and porosity. *Biomacromolecules* 12(10): 3638-3644.
- Tang, C. S., Cui, Y. J., Shi, B., Tang, A. M., and Liu, C. 2011. Desiccation and cracking behaviour of clay layer from slurry state under wetting–drying cycles. *Geoderma* 166(2011): 111-118.
- Tang, C. S., Cui, Y. J., Shi, B., Tang, A. M., and An, N. 2016. Effect of wetting-drying cycles on soil desiccation cracking behaviour. In *3rd European Conference on Unsaturated Soils – “E-UNSAT 2016”*. E3S Web of Conferences: Vol. 9, 12003.

Williams, J., Prebble, R. E., Williams, W. T., and Hignett, C. T. 1983. The influence of texture, structure and clay mineralogy on the soil moisture characteristic. *Australian Journal of Soil Research* 21: 15-32.

วันรับบทความ (Received date) : 5 ต.ค. 64

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 11 มี.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 9 พ.ค. 65

อัตราส่วนที่เหมาะสมของชาใบหม่อนและสับปะรดต่อคุณภาพของน้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรด

Appropriate Ratios of Mulberry Leaf and Pineapple on Qualities of Mulberry Leaf and Pineapple Juice

วัฒนา วิรุฒิกอร์^{1*}
Wattana Wirutthikorn^{1*}

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของชาใบหม่อนและสับปะรดต่อกระบวนการผลิตน้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรด การศึกษาครั้งนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 สิ่งทดลอง คือ น้ำชาใบหม่อน (ตัวอย่างควบคุม) น้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรดอัตราส่วน 70:30, 60:40 และ 50:50 ตามลำดับ ศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี และกลิ่น ศึกษาสมบัติทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ร้อยละกรดทั้งหมด ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และวิตามินซี ศึกษาสมบัติทางจุลชีววิทยาด้านจุลินทรีย์ทั้งหมด โคลิฟอร์ม *S. aureus* รวมถึงยีสต์และรา ศึกษาการยอมรับประสาธสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน แบบ 9-point hedonic scale ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพพบว่า ปริมาณน้ำสับปะรดที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า ทุกค่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด สิ่งทดลองที่ 4 มีค่าวิตามินซีสูงสุดเท่ากับ 0.41 มก./มล. ผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาพบว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด โคลิฟอร์ม *S. aureus* และยีสต์ และราเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า เมื่อพิจารณาสมบัติด้านกลิ่น รสชาติ และการยอมรับโดยรวมของสิ่งทดลองที่ 4 ได้รับคะแนนการยอมรับมีค่าสูงสุดคือ 7.50, 7.70 และ 7.60 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ชาใบหม่อน สับปะรด น้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรด คุณภาพ

Abstract

The objective of this research was to study the optimum ratios of mulberry leaf and pineapple for blended mulberry leaf juice and pineapple juice processing. This research consisted of four treatments. Fresh mulberry leaf juice (as a control sample), and blended mulberry leaf juice and pineapple juice in the ratios of 70:30, 60:40 and 50:50 were obtained, respectively. Physical properties such as appearance, color and odor, chemical properties including pH, percentage of total acidity, total soluble solids, and vitamin C, and microbiological properties including total plate count, coliform, *S. aureus*, and yeast and mold were determined. In addition, a sensory evaluation of each product's color, odor, taste, and overall acceptability was performed by 30 untrained panelists using the 9-point hedonic scale. With respect to the physical properties, it was found that an increase in the amount of pineapple juice caused an increase in appearance, color, and odor. Analysis of chemical properties revealed that all treatments were significantly different, except for the total soluble solids. Treatment 4 gave the highest vitamin C values of 0.41 mg/ml. The microbiological results demonstrated that total plate count, coliform, *S. aureus*, yeast and mold met standard regulations. The sensory evaluation indicated that the color, odor, taste, and overall acceptability of Treatment no. 4 received the highest scores of 7.50, 7.70, and 7.60, respectively.

Keywords: mulberry leaf, pineapple, blended mulberry leaf and pineapple juice, quality

¹สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12130

¹Division of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12130

*Corresponding author, E mail: wattana@rmutt.ac.th

คำนำ

ปัจจุบันสภาวะทางสังคมเศรษฐกิจที่เร่งรัดและการแข่งขันสูงทำให้คนต้องทุ่มเทเวลาส่วนใหญ่กับการทำงานหารายได้เพื่อการดำรงชีวิตและหาเลี้ยงครอบครัว ทำให้ไม่มีเวลาดูแลเรื่องสุขภาพร่างกายมากนัก การบริโภคอาหารที่มีประโยชน์รวมถึงการบริโภคเครื่องดื่มที่มีประโยชน์มากขึ้น ตลาดเครื่องดื่มพร้อมดื่มเป็นอีกตลาดหนึ่งที่ได้รับประโยชน์จากการที่ผู้บริโภคหันมาสนใจ สำหรับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเครื่องดื่มไม่มีแอลกอฮอล์นี้ ผลิตภัณฑ์จากชากำลังเป็นที่นิยมสำหรับผู้บริโภคเป็นจำนวนมาก รวมไปถึงการหันมาบริโภคพืชสมุนไพร ผลไม้ไทยพื้นบ้าน และผลไม้ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระอื่น ๆ เพิ่มขึ้น กลุ่มผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสนใจผลิตภัณฑ์ชาที่มีการดัดแปลงในรูปแบบต่าง ๆ มากขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มนักเรียนนักศึกษา กลุ่มวัยทำงาน และกลุ่มผู้สูงอายุที่ใส่ใจสุขภาพ (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2541; ธิดาวรรณ จงเกรียงไกร, 2557) น้ำจัดเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของร่างกาย เครื่องดื่มบางประเภทนอกจากช่วยในเรื่องดับกระหายน้ำแล้วยังมีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น น้ำผลไม้ น้ำสมุนไพร เป็นต้น (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2541) ชาใบหม่อนเป็นผลผลิตทางการเกษตรจากใบ ยอดอ่อน และก้านของต้นชา นำมาผ่านกรรมวิธีแปรรูปต่าง ๆ นำมาชงหรือดื่มกับน้ำร้อน นอกจากนี้ชายังเป็นเครื่องดื่มที่มีการบริโภคมากที่สุดเป็นอันดับสองรองจากน้ำเปล่า ชาจากใบหม่อน เป็นเครื่องดื่มบำรุงสุขภาพในประเทศญี่ปุ่น คนไทยใช้ใบหม่อนประกอบอาหาร ชาวจีนใช้เป็นพืชสมุนไพร (วิโรจน์ แก้วเรือง, 2543) มีการศึกษาและวิจัยพบว่าใบหม่อนสามารถช่วยลดไขมัน (Banchobphutsa, 2012) ลดระดับน้ำตาลในเลือด (Boornasuksakul et al., 2019) ลดความดันโลหิต ด้านการอักเสบ (Park et al., 2013) ด้านอนุมูลอิสระ (Wen et al., 2019) และต้านไกลโคเจนซึ่งเป็นกระบวนการเร่งการชรา (Deetae et al., 2012) เป็นต้น ใบหม่อนมีสารสำคัญหลายชนิด ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารดีออกซินอิจิริมาย-ซิน (DNJ) ซึ่งอยู่ในกลุ่มแอลคาลอยด์มีสมบัติช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดและต้านโรคอ้วน (Wen et al., 2019) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับสายพันธุ์หม่อน ซึ่งพบว่าชาที่ทำจากใบหม่อนพันธุ์คุณโพธิ์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าใบหม่อนพันธุ์วิริรัมย์ 60 (ธนกิจ ถาหมี และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2555; ธนกิจ ถาหมี และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2559) สับปะรดมีเอนไซม์ย่อยโปรตีนชื่อ บรอมิเลน (bromelain) เป็นเอนไซม์ย่อยโปรตีนได้จากเนื้อและแกนผลสับปะรดมีฤทธิ์ด้านการรวมตัวกันของเกล็ดเลือด มีรายงานว่าการให้บรอมิเลนกับสัตว์ทดลองสามารถละลายไขมันที่อุดตันในหลอดเลือดได้ มีฤทธิ์ต้านอักเสบ ลดความเจ็บปวดจากการอักเสบ การป้องกันการติดเชื้อลดการกระจายตัวของเซลล์มะเร็งในสัตว์ทดลอง บรอมิเลนมีฤทธิ์ช่วยระบบการย่อยอาหารและสมานแผลในกระเพาะอาหารเพราะมีคุณสมบัติสามารถย่อยโปรตีนให้มีโมเลกุลเล็กลงจึงมีการใช้น้ำสับปะรดในการหมักเนื้อเพื่อให้เนื้อนุ่ม หรือถ้ามีอาการแน่นท้องหลังจากการรับประทานอาหารประเภทเนื้อสัตว์มาก ๆ ให้ดื่มน้ำสับปะรดหลังอาหารช่วยลดอาการแน่นท้องได้ (จารุพันธ์ ทองแถม, 2526)

ชาใบหม่อนจัดเป็นเครื่องดื่มสมุนไพรจากใบหม่อนเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีผู้บริโภคมองมีความสนใจและให้การยอมรับว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อร่างกายแต่ว่ารูปแบบของผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันยังคงมีรูปแบบเดิมทำให้ไม่มีความน่าสนใจ จึงมีการนำเอาสับปะรดที่มีบรอมิเลนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมาประกอบรวมกันเป็นชาผลไม้ที่ให้รสที่สวยงามในผลิตภัณฑ์ชาขงมากขึ้น ซึ่งน่าจะสร้างความน่าสนใจให้กับผลิตภัณฑ์ชาขงได้เป็นอย่างดี เพื่อการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ทำให้เกิดความหลากหลาย และมีรูปแบบที่น่าสนใจมากยิ่งขึ้น (ธนกิจ ถาหมี และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2559) ศึกษาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ชาขงจากใบหม่อนและผลหม่อนโดยวางแผนการทดลองแบบ mixture design เพื่อศึกษาปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย ได้แก่ ใบหม่อนอบแห้งร้อยละ 20-60 ผลหม่อนห่ามอบแห้งร้อยละ 20-60 และผลหม่อนสุกร้อยละ 20-60 พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ ใบหม่อนอบแห้งร้อยละ 30 ผลหม่อนห่ามอบแห้งร้อยละ 24 และผลหม่อนสุกอบแห้งร้อยละ 46 ผลิตภัณฑ์มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี 0.273 ความชื้นร้อยละ 4.22 เถ้าร้อยละ 5.38 ค่า EC 50 เท่ากับ 287.08 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด 5.67 มิลลิกรัม/กรัม แอนโทไซยานิน 170.49 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร เคอร์ซีติน 100.60 มิลลิกรัม/ลิตร คาเทชิน 406.62 มิลลิกรัม/ลิตร แทนนินร้อยละ 0.327 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความปลอดภัยทางด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และมีคะแนนความชอบเฉลี่ยทุกคุณลักษณะอยู่ในระดับชอบถึงชอบปานกลาง (อนงค์ ศรีโสภา และกาญจนา วงศ์กระจ่าง, 2563) พัฒนาสูตรชาสมุนไพรที่มีกลิ่นหอมและรับประทานง่าย โดยมีใบหม่อนเป็นส่วนผสมหลัก และสมุนไพรแต่งกลิ่นและรส ได้แก่ หญ้าหวาน ใบมะกรูด ใบเตย เนื้อมะนาว แก้วฮวย ชิง มะตูม และดาวเรือง เปรียบเทียบปริมาณฟีนอลทั้งหมด ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์การต้านเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสในน้ำชาจากชาสมุนไพรทั้งหมด 16 สูตร โดยตรวจวัดปริมาณฟีนอลทั้งหมดจากการทำปฏิกิริยากับฟอลินซีโอแคลทรีเอเจนต์ ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยทำปฏิกิริยากับดีพีพีเอช และศึกษาฤทธิ์การต้านเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสโดยวัดอัตราการปลดปล่อยพาราโนโตรฟีนอลด้วยเทคนิคคลอริเมทรี ผลการทดลองพบว่าชาสมุนไพรที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ (1) ใบหม่อน : แก้วฮวย (0.75 : 0.25 กรัม) (2) ใบหม่อน : ดาวเรือง : หญ้าหวาน (0.50 : 0.25 : 0.25 กรัม) และ (3) ใบหม่อน : มะตูม : หญ้าหวาน (0.50 : 0.25 : 0.25

กรัม) โดยมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 89.32, 87.40 และ 83.84 ตามลำดับ ส่วนชาสมุนไพรที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ แอลฟาโทโคฟีโนลิกสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ (1) ใบหม่อน : ดาวเรือง (0.75 : 0.25 กรัม) (2) ใบหม่อน : เก๊กฮวย (0.75 : 0.25 กรัม) และ (3) ใบหม่อน : เนียมหอม : หญ้าหวาน (0.50 : 0.25 : 0.25 กรัม) โดยมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระแอลฟาโทโคฟีโนลิก ร้อยละ 82.17, 81.76 และ 79.76 ตามลำดับ โดยนำชาสมุนไพรใบหม่อนที่มีส่วนผสมของเก๊กฮวยให้ฤทธิ์ทางชีวภาพสูงทั้งการต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งอนุมูลอิสระแอลฟาโทโคฟีโนลิก ซึ่งจากข้อมูลการวิจัยข้างต้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาจากใบหม่อนผสมสับปะรดเป็นการนำชาใบหม่อนและสับปะรดมาเป็นส่วนประกอบหลักเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลไม้ที่มีประโยชน์ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ชาซึ่งมีสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากกับกลุ่มผู้บริโภคที่สนใจด้านสุขภาพ ประกอบกับในผลิตภัณฑ์ชาซึ่งจะมีสีที่เปลี่ยนจากผลิตภัณฑ์ชาทั่วไป และมีกลิ่นที่หอมจากชาใบหม่อน (ธนกิจ ถาหมี และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2555; ธนกิจ ถาหมี และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2559) งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาจากใบหม่อนผสมสับปะรดโดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบหลัก ได้แก่ ชาใบหม่อน และสับปะรด ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส ผลจากการศึกษานี้เป็นการแปรรูปชาใบหม่อนและสับปะรดให้เป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกหนึ่งของเครื่องดื่มชาเพื่อสุขภาพที่มีคุณค่าทางโภชนาการและรสชาติแก่ผู้บริโภค เป็นการเพิ่มช่องทางการเลือกการแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้หลากหลายมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสู่การผลิตภาคอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคตได้

วิธีการศึกษา

ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรด

นำชาใบหม่อนและน้ำสับปะรดที่ผ่านการเตรียมสับปะรดโดยเลือกลูกที่มีขนาดสม่ำเสมอ ไม่ซ้ำ ไม่มีรอยตำหนิ ปอกเปลือก และล้างทำความสะอาดหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วบีบคั้นน้ำ กรองแยกกากด้วยผ้าขาวบาง แบ่งน้ำสับปะรด 300 มิลลิลิตรที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ร้อยละกรดทั้งหมด (total acidity) ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid; TSS) และวิตามินซี (ascorbic acid) (AOAC, 2000)

ศึกษาการเตรียมผลิตภัณฑ์ชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรด

การเตรียมตัวอย่างชาใบหม่อนอบแห้งสำเร็จรูปยี่ห้อดอยคำ จากร้านดอยคำศูนย์การค้าฟิวเจอร์พาร์ครังสิต อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี โดยการชั่งชาใบหม่อน 5 กรัม เตรียมไว้ จากนั้นต้มน้ำ 2,000 มิลลิลิตร ให้เดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นำชาใบหม่อนที่เตรียมไว้ใส่ลงในผ้าขาวบางแล้วต้มต่ออีก 2 นาที จากนั้นแบ่งน้ำชาใบหม่อนร้อยละ 50, 60 และ 70 (น้ำหนัก/ปริมาตร) (ดัดแปลงจาก ประภาศรี เจริญสุข, 2548) การเตรียมน้ำสับปะรดโดยเลือกลูกที่มีขนาดสม่ำเสมอ ไม่ซ้ำ ไม่มีรอยตำหนิ ปอกเปลือกและล้างทำความสะอาดหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วบีบคั้นน้ำ กรองแยกกากด้วยผ้าขาวบางแบ่งน้ำสับปะรดร้อยละ 30, 40 และ 50 (น้ำหนัก/ปริมาตร) (ดัดแปลงจาก ประภาศรี เจริญสุข, 2548) นำน้ำชาใบหม่อนและน้ำสับปะรดผสมกันตามอัตราส่วนของแต่ละสิ่งทดลองแล้วปรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดให้ได้ 12 °บrix โดยเติมน้ำตาลทรายขาว ทำการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แล้วบรรจุลงในขวดพลาสติกปริมาตร 300 มิลลิลิตรที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ทำการปิดฝาแล้วทำให้เย็นทันที จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส โดยแบ่งเป็น 4 สิ่งทดลอง (treatment) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) ดังนี้ (ดัดแปลงจาก ประภาศรี เจริญสุข, 2548)

สิ่งทดลอง 1	น้ำชาใบหม่อน 100 และน้ำสับปะรด 0 (สูตรควบคุม)
สิ่งทดลอง 2	น้ำชาใบหม่อน 70 และน้ำสับปะรด 30
สิ่งทดลอง 3	น้ำชาใบหม่อน 60 และน้ำสับปะรด 40
สิ่งทดลอง 4	น้ำชาใบหม่อน 50 และน้ำสับปะรด 50

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

โดยการสังเกตจากลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์ด้วยสายตาโดยการสังเกตลักษณะปรากฏ สี กลิ่น (ดัดแปลงจาก สวามิณี นวลเชกุล, 2547)

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH Meter ตามวิธีของ (AOAC, 2000) ร้อยละกรดทั้งหมด โดยวิธีไตเตรทตามวิธีของ (AOAC, 2000) ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (AOAC, 2000) และวิตามินซี (AOAC, 2000)

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

นำสิ่งทดลองที่เตรียมได้ 1 สิ่งทดลองที่ให้ผลการทดลองดีที่สุดซึ่งทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ได้แก่ จุลินทรีย์ทั้งหมดในรูปแบบคอกัส โคลิฟอร์ม *S. aureus* และยีสต์ และราในวันที่ 0, 3, 5 และ 7 (Larry and James, 2001; Valerie et al., 2001)

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำการประเมินผลลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ 9 point hedonic scale test โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ตัวแปรที่ต้องการทดสอบคือ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2545)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft excel 2016 (เป็นโปรแกรมการวิเคราะห์ค่าสถิติในชุดโปรแกรม Microsoft) การทดลองใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ส่วนการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design; RCBD) นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance; ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2545)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์น้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรด

จากการศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรด โดยสังเกตลักษณะผลิตภัณฑ์น้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรดในอัตราส่วน 100:0, 70:30, 60:40 และ 50:50 ตามลำดับ ทำการสังเกตด้วยตาเปล่าในด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่น ผลแสดงดัง Table 1

Table 1 Physical appearance of blended mulberry leaf and pineapple juice.

Treatment*	Appearance	Color	Odor
1	clear no sediment	green	tea
2	few pineapple sediment	pale yellow	few pineapple
3	medium pineapple sediment	pale yellow	high pineapple
4	maximum pineapple sediment	medium yellow	maximum pineapple

*Treatment 1 mulberry leaf juice 100 and pineapple juice 0.

*Treatment 2 mulberry leaf juice 70 and pineapple juice 30.

*Treatment 3 mulberry leaf juice 60 and pineapple juice 40.

*Treatment 4 mulberry leaf juice 50 and pineapple juice 50.

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างน้ำชาใบหม่อนและน้ำสับปะรดในอัตราส่วนที่ต่างกันและสังเกตด้วยตาเปล่าเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพบว่า อัตราส่วนที่ต่างกันของน้ำชาใบหม่อนและน้ำสับปะรดมีผลต่อลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นที่เกิดขึ้น จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำสับปะรดมากขึ้น แนวโน้มการเกิดการตกตะกอนรวมถึงสีและกลิ่นจะเพิ่มมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจาก สับปะรดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น การเกิดตะกอนที่มากเกินไปส่งผลต่อการสูญเสียเนื้อสัมผัสบางส่วนซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ (จินดารัฐ วีระวุฒิ, 2541; ปิยาภรณ์ เชื้อมัยตระกูล และคณะ, 2547)

คุณภาพทางเคมีของน้ำชาใบหม่อนและน้ำสับปะรด

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำชาใบหม่อนและน้ำสับปะรด ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ร้อยละกรดทั้งหมด (คำนวณในรูปกรดซิตริก) ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และวิตามินซี ผลแสดงดัง Table 2

Table 2 Chemical properties of mulberry leaf juice and pineapple juice.

Sample	Values			
	pH	Total acidity (%)	Total soluble solid (°Brix)	Vitamin C (mg/ml)
mulberry leaf juice	6.09	0.02	2.00	0.18
pineapple juice	3.48	0.36	12.20	0.42

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างน้ำชาใบหม่อนและน้ำสับปะรดเมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่า น้ำชาใบหม่อนมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.09 มากกว่าน้ำสับปะรด ร้อยละกรดทั้งหมด (คำนวณในรูปของกรดซิตริก) เท่ากับ 0.02 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรน้อยกว่าน้ำสับปะรด และของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเท่ากับ 2.00 °บริกซ์ มีค่าน้อยกว่าน้ำสับปะรด และวิตามินซีเท่ากับ 0.18 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรมีค่าน้อยกว่าน้ำสับปะรด จากค่าที่ได้นี้สามารถอธิบายได้ว่าในสับปะรดมีค่าความเป็นกรดสูงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำผลไม้ชนิดอื่น ๆ ทำให้มีรสชาติเปรี้ยวโดยกรดอินทรีย์ที่พบมากในสับปะรด ได้แก่ กรดซิตริก และกรดมาลิก และมีค่าวิตามินซีสูง เป็นผลให้พบปริมาณวิตามินซีมากกว่าในน้ำชาใบหม่อน (จารุพันธ์ ทองแถม, 2526; จินดารัฐ วีระวุฒิ, 2541; ปิยาภรณ์ เข็มชัยตระกูล และคณะ, 2547)

คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์น้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรด

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์น้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรด ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ร้อยละกรดทั้งหมด (คำนวณในรูปกรดซิตริก) ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และวิตามินซี ผลแสดงดัง Table 3

Table 3 Chemical properties of blended mulberry leaf juice and pineapple juice.

Treatment*	Values			
	pH*	Total acidity*	Total soluble solid (°Brix) ^{ns}	Vitamin C* (mg/ml)
1	6.81 ^a	0.02 ^d	8.20	0.16 ^d
2	3.89 ^b	0.17 ^c	8.11	0.30 ^c
3	3.65 ^c	0.27 ^b	8.25	0.38 ^b
4	3.44 ^d	0.37 ^a	8.32	0.41 ^a

*Different letters within a column indicate differences determined by Duncan's new multiple range test (DMRT) at the 95 percent level of significance, ns non significant.

*Treatment 1 mulberry leaf juice 100 and pineapple juice 0.

*Treatment 2 mulberry leaf juice 70 and pineapple juice 30.

*Treatment 3 mulberry leaf juice 60 and pineapple juice 40.

*Treatment 4 mulberry leaf juice 50 and pineapple juice 50.

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (Akusu et al., 2016) โดยพบว่า สิ่งทดลองที่ 1 มีค่าความเป็นกรด-ด่างมากที่สุด คือ 6.81 รองลงมาเป็นสิ่งทดลองที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ เนื่องจากน้ำชาใบหม่อนมีค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงเป็นกลางและสับปะรดมีค่าความเป็นกรดสูง เมื่อนำมาผสมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกันจึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกันตามอัตราส่วนของน้ำสับปะรดที่ผสม ร้อยละกรดทั้งหมดพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งจากการทดลองพบว่า สิ่งทดลองที่ 4 มีค่าร้อยละ

กรดทั้งหมดมากที่สุด คือ 0.37 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือสิ่งทดลองที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ เนื่องจากในสับปะรดมีกรดอินทรีย์ร้อยละ 0.6 โดยกรดอินทรีย์ที่สำคัญ 2 ชนิด คือ กรดซิตริกและกรดมาลิกมีปริมาณสูงจึงทำให้มีค่าปริมาณกรดในอัตราส่วนที่ต่างกัน (จินดารัฐ วีระวุฒิ, 2541; อนงค์ ศรีโสภา และกาญจนา วงศ์กระจ่าง 2563; Akusu et al., 2016) และเมื่อนำมาผสมชาใบหม่อนที่มีร้อยละปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 0.02 จึงทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออัตราส่วนของสับปะรดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำชาใบหม่อนลดลงในสิ่งทดลองที่ 4 มีค่าร้อยละกรดทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.37 ส่วนสิ่งทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละปริมาณกรดทั้งหมดน้อยที่สุดเท่ากับ 0.02 (จินดารัฐ วีระวุฒิ, 2541; ธนกิจ ภาพมี และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2555; ธนกิจ ภาพมี และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2559; Akusu et al., 2016) จากการวิเคราะห์ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดพบว่า ทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจาก สัดส่วนน้ำชาใบหม่อนและน้ำสับปะรดมีค่าใกล้เคียงกัน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาล กรดละลายน้ำที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก (จินดารัฐ วีระวุฒิ, 2541; ธนกิจ ภาพมี และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2555; ธนกิจ ภาพมี และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2559) ส่วนค่าปริมาณวิตามินซีพบว่า ทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งจากการทดลองพบว่า สิ่งทดลองที่ 4 มีค่าวิตามินซีมากที่สุด คือ 0.41 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ ในสับปะรดสดมีวิตามินซีสูงมีค่าเท่ากับ 36.2 มิลลิกรัม/100 กรัมสับปะรดสด จึงทำให้มีค่าวิตามินซีในอัตราส่วนที่ต่างกัน และเมื่อนำมาผสมชาใบหม่อนที่มีวิตามินซีเท่ากับ 0.18 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรจึงทำให้วิตามินซีทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออัตราส่วนของสับปะรดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำชาใบหม่อนลดลง โดยสิ่งทดลองที่ 4 มีค่าวิตามินซีมากที่สุดเท่ากับ 0.41 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และสิ่งทดลองที่ 1 มีค่าวิตามินซีน้อยที่สุดเท่ากับ 0.16 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จินดารัฐ วีระวุฒิ, 2541; ปิยาภรณ์ เชื้อมชัยตระกูล และคณะ, 2547; ธนกิจ ภาพมี และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2555; ธนกิจ ภาพมี และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2559; Akusu et al., 2016)

คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์น้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรด

จากการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์น้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรดได้เลือก 1 สิ่งทดลองที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 4 จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส โดยมีการตรวจจุลินทรีย์ทั้งหมดโคลิฟอร์ม *S. aureus* และยีสต์ และราในวันที่ 0, 3, 5 และ 7 ผลแสดงดัง Table 4

Table 4 Microbiological types of blended mulberry leaf juice and pineapple juice 50:50.

Day	Microbiological Types	Results
0	Total plate count	<250 CFU/g
	Coliform	<1.1 MPN/100 ml
	<i>S. aureus</i>	Non detected
	Yeast and Mold	< 1 CFU/g
3	Total plate count	<250 CFU/g
	Coliform	<1.1 MPN/100 ml
	<i>S. aureus</i>	Non detected
	Yeast and Mold	< 1 CFU/g
5	Total plate count	<1 CFU/g
	Coliform	<1.1 MPN/100 ml
	<i>S. aureus</i>	Non detected
	Yeast and Mold	< 1 CFU/g
7	Total plate count	<1 CFU/g
	Coliform	<1.1 MPN/100 ml
	<i>S. aureus</i>	Non detected
	Yeast and Mold	< 1 CFU/g

จากผลการวิเคราะห์จุลินทรีย์ที่มีในผลิตภัณฑ์น้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรดโดยมีการตรวจจุลินทรีย์ทั้งหมดโคลิฟอร์ม *S. aureus* ยีสต์และราในวันที่ 0, 3, 5 และ 7 (Table 4) พบว่า จุลินทรีย์ทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลง คือ มีแนวโน้มที่ลดลง วันที่ 0 มีค่าน้อยกว่า 250 ซีเอฟยู/กรัม เมื่อเก็บรักษา 3 วันมีค่าเท่ากับวันที่ 0 และลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้ 7 วันมีค่าน้อยกว่า 1 ซีเอฟยู/กรัม โคลิฟอร์มทำการตรวจวันที่ 0 พบว่า มีจำนวนน้อยกว่า 1.1 MPN/100 ml *S. aureus* ตรวจไม่พบ ยีสต์และรา พบว่า วันที่ 0, 3, 5 และ 7 มีจำนวนน้อยกว่า 1 ซีเอฟยู/กรัม เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างในผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 3.44 มีความเป็นกรดมากกว่าสิ่งทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ความเป็นกรดช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ (ปราณี อานเปื้อง, 2541) ซึ่งข้อกำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 30/2546) กล่าวว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องมีค่าไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม *S. aureus* ต้องน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม โคลิฟอร์มโดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 2.2 ต่อตัวอย่าง 100 มิลลิกรัม และยีสต์ และรา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม ค่าที่วิเคราะห์นี้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2556)

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรด

จากการวิเคราะห์การประเมินผลลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ 9 point hedonic scale test ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน คุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรดที่ต้องการทดสอบคือ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ผลแสดงดัง Table 5

Table 5 Sensory properties of blended mulberry leaf juice and pineapple juice.

Treatment*	Attribute values			
	Color ^{ns}	Odor ^{ns}	Taste [*]	Overall Acceptability [*]
1	7.20	7.00	6.90 ^d	7.20 ^b
2	7.30	7.00	6.70 ^b	7.00 ^c
3	7.20	6.70	6.40 ^c	7.00 ^c
4	7.10	7.50	7.70 ^a	7.60 ^a

*Different letters within a column indicate differences determined by Duncan's new multiple range test (DMRT) at the 95 percent level of significance, ns non significant.

*Treatment 1 mulberry leaf juice 100 and pineapple juice 0.

*Treatment 2 mulberry leaf juice 70 and pineapple juice 30.

*Treatment 3 mulberry leaf juice 60 and pineapple juice 40.

*Treatment 4 mulberry leaf juice 50 and pineapple juice 50.

จากผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ 9 point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ด้าน สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมมีผลต่อผลิตภัณฑ์น้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรด พบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรดแต่ละสิ่งทดลองมีลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ และความชอบโดยรวมมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นด้านสีและด้านกลิ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 5) แสดงว่า อัตราส่วนการผสมของน้ำชาใบหม่อนและสับปะรดในอัตราส่วนที่ต่างกันมีผลทำให้สีของน้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรดแตกต่างกันโดยสีของน้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรดในสิ่งทดลองที่ 4 มีสีเหลืองเข้มมากกว่าสิ่งทดลองที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งแสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่มีสีที่เข้มหรืออ่อนมีผลต่อความชอบของผู้บริโภค ด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์น้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรดทั้ง 4 สิ่งทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับด้านสี โดยสิ่งทดลองที่ 4 มีคะแนนสูงสุด คือ 7.5 เมื่อศึกษาองค์ประกอบสารให้กลิ่นรสระเหยในสับปะรดพบว่า สับปะรดมีสารระเหยที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone และเมื่อผสมกับน้ำชาใบหม่อนจึงมีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ ทำให้กลิ่นของน้ำสับปะรดในแต่ละสิ่งทดลองมีความใกล้เคียงกัน (จินดารัฐ วีระวุฒิ, 2541; ธนิก ฤทธิ และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2555; ธนิก ฤทธิ และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2559; อนงค์ ศรีโสภา และกาญจนา วงศ์กระจ่าง, 2563; Akusu et al., 2016) ด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์น้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับปะรดทั้ง 4 สิ่งทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 4 มีคะแนนสูงสุด คือ 7.7 มีความแตกต่างจากสิ่งทดลองที่ 1, 2 และ 3 ที่มีคะแนนเท่ากับ 6.9, 6.7 และ 6.4 ตามลำดับ ในทางทฤษฎีน้ำชาใบหม่อนมีสารแทนนิน ควอเซทิน และแคเทชินเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่พบในชาผสมสารประกอบนี้มีผลทำให้มีรสชาติฝาดจากรายงานการวิจัยศึกษา

ปริมาณแทนนินในชาชงใบหม่อนผสมหม่อนพบว่าปริมาณแทนนิน คอเวทิน และแคเทชินเท่ากับ 0.327 กรัม/100 กรัม 100.60 พีพีเอ็ม และ 406.62 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ธนกิจ ถาหมี และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2555; ธนกิจ ถาหมี และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2559; อนงค์ ศรีโสภ และกาญจนา วงศ์กระจ่าง, 2563) ส่วนในน้ำสับประรดมีกรดซิตริกและกรดมาลิกสูงจึงทำให้เกิดรสเปรี้ยว ซึ่งทำให้รสชาติของแต่ละสิ่งทดลองมีความแตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์น้ำชาใบหม่อนผสมน้ำสับประรดทั้ง 4 สิ่งทดลองพบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 4 มีคะแนนสูงสุด คือ 7.6 รองลงมาคือสิ่งทดลองที่ 1, 2 และ 3 ที่มีคะแนนเท่ากับ 7.2, 7.0 และ 7.0 ตามลำดับ ค่าที่ได้นี้มีแนวโน้มเป็นไปทำนองเดียวกันกับค่ารสชาติ (วันดี แสงสุวรรณ, 2549; ธนกิจ ถาหมี และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2555; ธนกิจ ถาหมี และพิไลรัก อินธิปัญญา, 2559; Siti Rashima, 2019)

สรุปผลการศึกษา

เมื่อพิจารณาสัดส่วนโดยรวมน้ำชาใบหม่อนและน้ำสับประรดที่เหมาะสมจากผลการวิเคราะห์ด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และประสาทสัมผัส พบว่าน้ำชาใบหม่อนและน้ำสับประรดอัตราส่วน 50:50 หรือสิ่งทดลองที่ 4 มีความเหมาะสมที่สุดสามารถนำมาปรับใช้ในการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพได้เหมาะสมสำหรับผู้ที่มีความเป็นห่วงในเรื่องสุขภาพ ดังนั้นจึงควรศึกษาเพิ่มเติมในด้านการผสมน้ำผลไม้ชนิดอื่นลงไปเพื่อให้มีความหลากหลายในด้านสี กลิ่น สารอาหารที่ได้รับ เช่น ส้ม แอปเปิ้ล หรือสมุนไพรร เช่น ชา เป็นต้น และเนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้พบปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำสับประรดมากขึ้น ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้มีแนวคิดของการผสมน้ำสมุนไพรชนิดอื่น ๆ และควรที่จะศึกษาปริมาณสารที่ช่วยลดการเกิดตะกอนของน้ำผลไม้ลง เช่น กัม เป็นต้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำสมุนไพรผสมผลไม้ในเชิงธุรกิจต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- จินดารัฐ วีระวุฒิ. 2541. *สับประรดและสรีรวิทยาการเจริญเติบโตของสับประรด*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จารุพันธ์ ทองแถม. 2526. *สับประรดและอุตสาหกรรมสับประรดในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธนกิจ ถาหมี และพิไลรัก อินธิปัญญา. 2555. การพัฒนาสูตรเครื่องดื่มน้ำหม่อน (*Morus alba* L.) สกัดผสมน้ำผึ้ง. *วารสารวิชาการเกษตร* 30(3): 274-289.
- ธนกิจ ถาหมี และพิไลรัก อินธิปัญญา. 2559. การพัฒนาสูตรชาชงใบหม่อนผสมผลหม่อนโดยใช้การทดลองออกแบบส่วนผสม. *วารสารเกษตร* 32(2): 235-245.
- ธิดาวรรณ จงเกรียงไกร. 2557. พฤติกรรมการบริโภคชาผลไม้โอชาเยชของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร. *บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*.
- ประภาศรี เจริญสุข. 2548. การศึกษาการยอมรับน้ำมะขามผสมชาเขียวใบหม่อน. *วิทยาศาสตร์บัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตปทุมธานี*.
- ปราณี อานเป็รื่อง. 2541. ทฤษฎีการผลิตน้ำผลไม้บรรจุขวดพร้อมดื่มและความรู้เกี่ยวกับการขึ้นทะเบียน. *วารสารอาหาร* 28(3): 157-167.
- ปิยาภรณ์ เชื้อมชัยตระกูล, นิรมล สันติภาพวิวัฒนา และยุภาภรณ์ สร้อยระย้า. 2547. คุณภาพของน้ำสับประรดปรุงรสเข้มข้นแช่แข็ง. ใน *รายงานวิจัย*. สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. *การทดสอบความชอบหรือการยอมรับรวมของผู้บริโภคการประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)*. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิขสิทธิ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วันดี แสงสุวรรณ. 2549. กระบวนการผลิตชาใบหม่อนผงสำเร็จรูป. *วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง*.
- วิโรจน์ แก้วเรือง. 2543. *ชาหม่อน*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยหม่อนไหม กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สวามิณี นวลแขกกุล. 2547. การพัฒนาเครื่องดื่มชาใบโศภนเส้นใยอาหารจากกากที่เหลือจากการแปรรูปหม่อนชาใบโศภน. *วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*.
- สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2556. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนชาใบหม่อน มผช 30/2556*. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- อนงค์ ศรีโสภ และกาญจนา วงศ์กระจ่าง. 2563. การพัฒนาสูตรชาสมุนไพรใบหม่อนผสมสมุนไพรรักษาโรคที่มีฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านเอนไซม์กลูโคซิเดส. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 9(2): 218-229.
- Akusu, O.M., Kiin-Kabari, D.B., and Ebere, C.O. 2016. Quality characteristics of orange/pineapple fruit juice blends. *American Journal of Food Science and Technology* 4(2): 43-47.
- AOAC. 2000. *Official methods of analysis*, 17th ed. USA: The Association of Official Analytical Chemists (AOAC).
- Banchobphutsa, Y. 2012. The efficacy of *Morus alba* leaf tea in patients with dyslipidemia. In *Annual Research Conference in Dermatology and Aesthetic Dermatology* 6th. pp. 206-225. Chiang Rai: Mae Fah Luang University.
- Booranasuksakul, U., Rueangsri, N., Prasertsri, P., and Singhato, A. 2019. Effects of mulberry (*Morus alba*) leaf tea on blood glucose and satiety in healthy subjects. *Srinagarind Medical Journal* 34: 237-242.
- Deetae, P., Parichanon, P., Trakunleewatthana, P., Chanseetis, C., and Lertsiri, S. 2012. Antioxidant and anti-glycation properties of Thai herbal teas in comparison with conventional teas. *Food Chemistry* 133: 953-959.
- Larry, M., and James, T.P. 2001. Bacteriological Analytical Manual Chapter 3 Aerobic Plate Count. U.S. Food and Drug

- Administration. Center for Food Safety and Applied Nutrition, USA.
<http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm063346.htm> (22 August 2019).
- Park, E., Lee, S.M., Lee, J., and Kim, J.H. 2013. Anti-inflammatory activity of mulberry leaf extract through inhibition of NF-KB. *Journal of Functional Foods* 5: 178-186.
- Siti Rashima, R., Maizura, M., Wan Nur Hafzan, W.M., and Hazzeman, H. 2019. Physicochemical properties and sensory acceptability of pineapples of different varieties and stages of maturity. *Food Research* 3(5): 491-500.
- Valerie, T., Michael, E.S., Philip, B.M., Herbert, A.K., and Ruth, B. 2001. Bacteriological Analytical Manual Chapter 18 Yeasts, Molds and Mycotoxins. U.S. Food and Drug Administration. Center for Food Safety and Applied Nutrition, USA.
<http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm071435.htm> (15 August 2019).
- Wen, P., Hu, T.G., Linhardt, R.J., Liao, S.T., Wu, H., and Zou, Y.X. 2019. Mulberry: A review of bioactive compounds and advanced processing technology. *Trends Food Science Technology* 83: 138-158.

วันรับบทความ (Received date) : 8 มี.ค. 64

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 1 พ.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 21 มิ.ย. 65

ศักยภาพการทนแล้งและผลผลิตของข้าวไร่พันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์แนะนำในประเทศไทย

Potential for Drought Tolerance and Yield of a Landrace and Recommended Thai Upland Rice Cultivars

จรัญญา แวกสวัสดิ์¹, สุวัจน์ อิมวิชิต¹, ประภัสสร วิจิตรจันทร์¹, สันติสุข รวีราบัณฑิต¹, นัฐวรรณ บุชบา¹, สุนันตรา บรรจบพุดซา¹,
ธนสิน ทับทิมโต¹, กนกวรรณ ศรีคชา¹, เบญญาภา ทองศรี¹, พงศธร สุขสวัสดิ์¹, พีรดา อินทะเสน¹, ประพฤติ พรหมสมบูรณ์¹,
ธีรวัฒน์ ศรีตโยภาส¹ และไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล¹
Charanya Khaeksawad¹, Suwat Imwichit¹, Prapasorn Wijitjun¹, Suntit Reewarabumdit¹, Nattawan Bussaba¹, Sunantra Banjobpudsa¹,
Thanasin Thabthimtho¹, Kanokwan Srikhacha¹, Benyapha Thongsri¹, Pongsathorn Suksawat¹, Peerada Intasen¹,
Praprut Promsomboon², Teerawat Sarutayophat¹ and Phairat Phimsirikul¹

บทคัดย่อ

ข้าวไร่มักจะมีเสถียรภาพในการให้ผลผลิตต่ำเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของปริมาณน้ำฝนในฤดูปลูก ความสามารถทนแล้งของพันธุ์ปลูกจะช่วยให้ผลผลิตมีเสถียรภาพมากขึ้น จึงได้ทำ 2 การทดลองเพื่อประเมินศักยภาพการทนแล้งและผลผลิตของข้าวไร่พันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์แนะนำในประเทศไทย 11 พันธุ์ ร่วมกับพันธุ์บาเกียว IR1552 และขาวดอกมะลิ 105 ประเมินศักยภาพการทนแล้งด้วยดัชนี 4 ลักษณะ คือ ความยาวรากสูงสุด น้ำหนักรากแห้ง สัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้งและค่าการสูญเสียน้ำผ่านปากใบที่อายุ 40 วันหลังปลูกในกระถาง ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 3 ซ้ำ ทำการทดลองที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ และเปรียบเทียบผลผลิตในสภาพไร่ ที่แปลงทดลองของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี ในฤดูฝน ปี พ.ศ. 2562 (ส.ค.-ธ.ค.) ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก 3 ซ้ำ สุ่มบันทึกข้อมูลผลการทดลอง 10 กอ/หน่วยทดลอง ผลการทดลองพบว่า พันธุ์บาเกียวมียดัชนีการทนแล้งดีที่สุดเนื่องจากมีรากยาวที่สุด (50.00 ซม.) สัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้งที่สูงที่สุด (0.61) และการสูญเสียน้ำผ่านปากใบต่ำที่สุด (1.39 mmol m⁻²s⁻¹) โดย IR1552 และขุนวาง มียดัชนีการทนแล้งสูงเป็นอันดับ 2 และ 3 รองจากบาเกียว มีความยาวรากสูงสุด 44.10 และ 43.23 ซม. สัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้ง 0.53 และ 0.51 และมีการสูญเสียน้ำผ่านปากใบ 1.41 และ 1.43 mmol m⁻²s⁻¹ ตามลำดับ โดยพันธุ์ข้าวเกลี้ยงมียดัชนีทนแล้งต่ำกว่าพันธุ์อื่น ๆ ภายใต้สภาวะเครียดแล้ง เนื่องจากปริมาณน้ำฝนน้อยและกระจายไม่สม่ำเสมอและดินร่วนทรายพบว่า พันธุ์บาเกียวให้ผลผลิตสูงสุด 139.13 กรัม/กอ รองลงมาคือ พญาสีมแกง 78.67 กรัม/กอ ส่วนขาวดอกมะลิ 105 ให้ผลผลิต 51.42 กรัม/กอ

คำสำคัญ: ข้าวไร่ ศักยภาพการทนแล้ง ผลผลิตในสภาพไร่ สภาวะเครียดแล้ง

Abstract

Upland rice usually has low stability of yield due to erratic rainfall throughout the growing season. However, drought tolerant cultivars may produce higher yield stability. Two experiments were conducted to evaluate the potential for drought tolerance and yield of 11 landraces and the Thai upland rice cultivars Baguio, IR1552, and Khao Dawk Mali 105. Drought tolerance was assessed at 40 days after planting (DAP) using the following characteristics: longest root, root dr wt, root/shoot dr wt ratio, and stomatal conductance. Completely Randomized Design (CRD)

¹ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹Department of Plant Production Technology, School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

²สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี 20110

²Department of Plant Production Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi 20110

*Corresponding author, Email: teerawat.sa@kmitl.ac.th

with 3 replications was used at the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, and upland field testing for yield was carried out at the Rajamangala University of Technology, Tawan-Ok, Chon Buri province, during the rainy season of 2019 (Aug-Dec), and Randomized Complete Block Design (RCBD) with 3 replications was used. Data were sampled and recorded for 10 hills/unit. The results showed that the Baguio cultivar had the highest drought tolerance potential with the longest root (50.00 cm), highest root/shoot dry wt ratio (0.61), and lowest stomatal conductance (1.39 mmol m⁻²s⁻¹). The IR1552 and Khun Wang cultivars came 2nd and 3rd, and had longest roots of 44.10, 43.23 cm, root/shoot dry wt ratios of 0.53 and 0.51, and stomatal conductances of 1.41 and 1.43 mmol m⁻²s⁻¹, respectively. Sew Gliang had the lowest drought tolerant index. Under drought stress due to low and erratic rainfall with loamy-sand, Baguio had the highest rough yield of 139.13 g/hill, Pa-yah Leum Gaeng had the 2nd rank of 78.67 g/hill, and Khao Dawk Mali 105 had 51.42 g/hill.

Keywords: upland rice, potential for drought tolerance, yield in upland field, drought stress

คำนำ

ข้าว (rice) เป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยมาก นอกจากเป็นพืชอาหารหลักของคนไทยแล้ว ผลผลิตในแต่ละปีประมาณ 50-55% ส่งออกไปขายต่างประเทศ สร้างรายได้มากเป็นอันดับที่ 2 ในกลุ่มผลผลิตจากพืชรองจากยางพารา โดยในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยส่งข้าวออกไปขายในตลาดต่างประเทศ 11.09 ล้านตันข้าวสาร มูลค่า 180,270 ล้านบาท ปี พ.ศ. 2564 ส่งออก 6.12 ล้านตัน มูลค่า 107,757 ล้านบาท (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2565) ทั้งนี้พื้นที่ปลูกข้าวในประเทศไทยรวมทั้งนาปีนาปรัง ในปีการผลิ 2563/64 เท่ากับ 69.7 ล้านไร่ ได้ผลผลิตข้าวเปลือกที่ความชื้น 15% รวม 30.98 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ย 444.5 กก./ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ยของเวียดนาม (892.9 กก./ไร่) และอินเดีย (591.0 กก./ไร่) (AtlasBig, 2022) ซึ่งเป็น 2 ประเทศคู่แข่งสำคัญในตลาดการค้าข้าวโลก ขณะที่ข้าวไร่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 210-456 กก./ไร่ (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2565) สาเหตุที่ข้าวไร่มีกจะทำให้ผลผลิตต่ำและผลผลิต/ไร่ มีความแปรปรวนสูงเนื่องจากปริมาณและการกระจายของน้ำฝนตลอดฤดูปลูกมีความแปรปรวน ส่งผลให้ข้าวไร่ได้รับผลกระทบจากความแห้งแล้งในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งระหว่างการพัฒนาเจริญเติบโตในสภาพไร่ IRRI (2009) รายงานว่าพื้นที่ปลูกข้าวทั่วโลกประมาณ 70% เริ่มได้รับผลกระทบจากความแห้งแล้งมากขึ้น เนื่องจากพื้นที่ปลูกข้าวส่วนใหญ่อาศัยเฉพาะน้ำฝน โดยเฉพาะพื้นที่ปลูกซึ่งเป็นที่สูง Srividhya et al. (2011) รายงานว่า ผลกระทบจากความแห้งแล้งอาจทำให้ผลผลิตข้าวเสียหายระหว่าง 15-50% พีระยศ แซ่ขัน และอนันต์ พลธานี (2539) ศึกษาผลกระทบขาดน้ำต่อผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 รายงานว่า การขาดน้ำในทุกระยะการเจริญเติบโต ทำให้ผลผลิตลดลงระหว่าง 13.7-37.7% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ขาดน้ำตลอดการเจริญเติบโต โดยการขาดน้ำในระยะเจริญเติบโตทางลำต้น เริ่มสร้างช่อดอกและระยะออกดอก ผลผลิตลดลง 28.7 13.7 และ 31.1% ตามลำดับ Sabetfar et al. (2013) ศึกษาผลกระทบขาดน้ำในระยะเจริญเติบโตทางลำต้น เริ่มสร้างช่อดอกและระยะออกดอกต่อผลผลิตข้าวพันธุ์ Hashemi ที่ประเทศอิหร่าน รายงานผลการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับรายงานของพีระยศ แซ่ขัน และอนันต์ พลธานี (2539) กล่าวคือ พบว่าการขาดน้ำในทุกระยะการเจริญเติบโตทำให้ผลผลิตข้าวลดลงระหว่าง 21.5-43.7% MacMillan et al. (2006) รายงานว่าการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของรากเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการปรับตัวของพืชต่อสภาวะแห้งแล้ง เนื่องจากรากเป็นอวัยวะที่พืชทุกชนิดใช้สำหรับการดูดน้ำและธาตุอาหารเพื่อเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของลำต้น ขณะที่ Kanbar et al. (2009) รายงานว่า ความยาวรากสูงสุด (longest root) และน้ำหนักแห้งราก (dry root weight) มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการทนแล้งของข้าวไร่ ทั้งนี้ข้าวไร่ส่วนใหญ่จะมีระบบรากลึก ยาวและมีขนาดใหญ่จึงทนแล้งได้ดีกว่าข้าวนาสวนที่มีระบบรากตื้น กฤษฎาพร ผลวงษ์ และคณะ (2561) ศึกษาลักษณะรากเปรียบเทียบระหว่างข้าวไร่กับข้าวนาสวน รายงานว่า ข้าวไร่พันธุ์ พญาสิมแกมมีจำนวนรากลึก (45.0 ราก/กอ) สูงกว่าข้าวนาสวนพันธุ์ กข 49 (19.0 ราก/กอ) การลดความเสียหายจากภาวะการ

ขาดน้ำหรือกระทบแล้ง วิธีหนึ่งจัดการได้ง่ายและต้นทุนต่ำคือ การใช้ข้าวพันธุ์ทนแล้งเป็นพันธุ์ปลูก คณะผู้วิจัยจึงทำการทดลองเพื่อประเมินความสามารถในการทนแล้งและศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าวไร่พันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์แนะนำ เพื่อประกอบการแนะนำพันธุ์ข้าวในเขตอาศัยน้ำฝนต่อไป

วิธีการศึกษา

วัสดุอุปกรณ์

เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์แนะนำ/พันธุ์พื้นเมืองดีเด่น 11 พันธุ์ แบ่งเป็นข้าวเจ้า 8 พันธุ์ประกอบด้วย ดอกพะยอม ชิวเกลี้ยง พญาลิ้มแกง ขุนวาว เล็บนก สามเดือน ภูเขาทอง 2 และนุสรฯ ข้าวเหนียว 3 พันธุ์ประกอบด้วย ชิวแม่จัน เหนียวดำลิ้มผัว และเหนียวใบดำ โดยใช้พันธุ์บาเกียว, IR1552 และขาวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์เปรียบเทียบรวมทั้งหมด 14 พันธุ์ ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15, 16-16-8 และ 46-0-0 วัสดุและครุภัณฑ์อื่น ๆ เช่น เครื่องชั่งไฟฟ้า ตู้อบลมร้อน กระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 นิ้ว ฤกษ์กระดาด ฯลฯ

วิธีการทดลอง

1. การประเมินความสามารถในการทนแล้ง

ปลูกทดลองด้วยเมล็ดข้าวไร่ในกระถางเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 นิ้ว ที่ใส่ดินร่วนผสมดินทรายตากแห้งอัตราส่วน 1:1 จำนวน 20 กก./กระถาง ปลูก 1 ต้น/หลุม 5 หลุม/กระถาง จำนวน 3 กระถาง/หน่วยทดลอง ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 25 กก./ไร่ (3.125 กก./กระถาง) หลังปลูก 15 วันและสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กก./ไร่ (1.25 กก./กระถาง) หลังปลูก 30 วัน วางกระถางในโรงเรือนหลังข้าวไร่ 1 สัปดาห์ให้น้ำข้างในกระถาง 3-5 ซม. และงดให้น้ำที่อายุ 21 วันจนกระทั่งใบข้าวเริ่มม้วนระหว่างเวลา 10.30-11.00 น. จากนั้นให้น้ำข้างในกระถาง 3-5 ซม. ตลอดการทดลอง และเมื่อข้าวมีอายุ 40 วัน หลังปลูก สุ่มบันทึกค่าการไหลของน้ำผ่านปากใบ (stomatal conductant) จากใบที่ 3 นับจากยอดที่แผ่ขยายเต็มที่ของลำต้นหลัก ตรวจวัดในช่วงเวลา 10:00-12:00 น. ด้วยเครื่อง steady state porometer รุ่น LI-1600 จากนั้นใช้น้ำฉีดล้างรากและบันทึกความยาวราก น้ำหนักรากและดินแห้ง โดยการอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จำนวน 10 กอ/หน่วยทดลอง ทำการทดลองต้นฤดูฝน (มิ.ย.-ก.ค.) ปี พ.ศ. 2562 ที่คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

2. การทดสอบผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตในสภาพไร่

ปลูกทดลองด้วยเมล็ดข้าวไร่ในสภาพไร่ (upland field experiment) ลักษณะดินร่วนทราย ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ปลูกด้วยเมล็ดข้าวไร่ระยะ 30x30 ซม. จำนวน 12 หลุม/แถว 5 แถว/หน่วยทดลอง หลังข้าวไร่ 2 สัปดาห์ถอนแยกให้เหลือ 5 ต้น/หลุม ใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง 1) สูตร 15-15-15 อัตรา 25 กก./ไร่ หลังข้าวไร่ 18-21 วัน 2) สูตร 16-16-8 อัตรา 20 กก./ไร่ หลังใส่ปุ๋ยครั้งแรก 25-30 วัน 3) สูตร 46-0-0 อัตรา 10 กก./ไร่ หลังใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ประมาณ 25-30 วัน ใช้จอบตากกำจัดวัชพืชพร้อมกับการใส่ปุ๋ยรวม 3 ครั้ง ทำการทดลองในฤดูฝนปี พ.ศ. 2562 (2 ส.ค.-15 ธ.ค.) อาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติและให้น้ำเสริมเฉพาะกรณีฝนทิ้งช่วงต่อเนื่องนานเกิน 7 วัน คือในวันที่ 8 จะทำการให้น้ำเสริม สุ่มบันทึกการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต จาก 3 แถวกลาง จำนวน 10 กอ/หน่วยทดลอง ทำการทดลองที่แปลงทดลองของคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดชลบุรี

การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง

วิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองด้วยโปรแกรม R (ซูซังค์ จอมพุก, 2555; R Core Team, 2022) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

ปริมาณและการกระจายของน้ำฝนระหว่างการทดลองในสภาพไร่ (2 ส.ค.-15 ธ.ค. 2562)

ในช่วงกลางฤดูฝนตั้งแต่วันที่ 1 ส.ค.- ต้นฤดูหนาว (15 ธ.ค.) ปี พ.ศ. 2562 ปริมาณฝนบริเวณพื้นที่ทดลองมีน้อยมาก และกระจายไม่ดี (Figure 1) น้ำฝนตลอดเดือน ส.ค. ปริมาณ 471.8 มม. มีจำนวนวันซึ่งฝนตกมากกว่า 10.0 มม. 8 วัน ในจำนวนนี้มีปริมาณน้ำฝนต่อเนื่อง 2 วัน (26-27 ส.ค.) มากถึง 250.7 มม. เดือน ก.ย. ปริมาณฝนมีน้อยมากเพียง 70.5 มม. มีวันซึ่งฝนตกมากกว่า 10.0 มม. เพียง 2 วัน เดือน ต.ค. ปริมาณฝน 236.6 มม. และมีวันซึ่งฝนตกมากกว่า 10.0 มม. 7 วัน เดือน พ.ย. มีปริมาณน้ำฝนเพียง 29.5 มม. มีวันที่ฝนตกเพียง 5 วัน โดยฝนมากที่สุดในวันที่ 19 พ.ย. เพียง 7.4 มม. และเดือน ธ.ค. ไม่มีฝน เนื่องจากปริมาณน้ำฝนน้อยมากและการกระจายไม่ดี ดังนั้นตลอดการทดลองจึงให้น้ำเสริม 6 ครั้ง (2, 10, 18, 26 พ.ย. และ 2, 10 ธ.ค.) ครั้งละประมาณ 30 มม. เพื่อป้องกันไม่ให้อาการขาดน้ำรุนแรงเกินจุดที่ฟื้นตัวได้

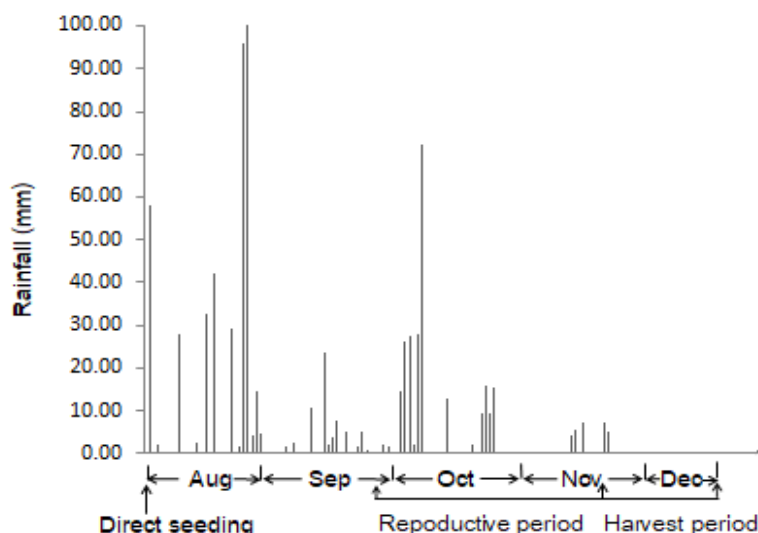


Figure 1 Distribution of rainfall during a field trial of an upland rice in the rainy season (Aug-Dec), 2019.

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ดัชนีวัดการทนแล้ง

ลักษณะที่ใช้เป็นดัชนีชี้วัดการทนแล้งในการศึกษานี้มี 4 ลักษณะประกอบด้วย ความยาวรากสูงสุด น้ำหนักรากแห้ง สัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/ต้นแห้งและค่าการไหลของน้ำผ่านปากใบที่อายุ 40 วันหลังปลูก ผลการทดลองพบว่า น้ำหนักรากแห้งและน้ำหนักต้นแห้งของข้าวที่ร่วมทดสอบ 14 พันธุ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ขณะที่ความยาวรากสูงสุด สัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้งและค่าการไหลของน้ำผ่านปากใบมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยพันธุ์บาเกียว IR1552 และขุนวาง มีรากยาวที่สุด 50.00, 44.10 และ 43.23 ซม. ตามลำดับ ขณะที่เหนียวดำลิ้มผัวมีความยาวรากน้อยที่สุดเพียง 23.63 ซม. ส่วนพันธุ์ที่มีสัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้งมากกว่า 0.50 มี 4 พันธุ์ คือ บาเกียว IR1552 เหนียวใบดำและขุนวาง เท่ากับ 0.61, 0.53, 0.53 และ 0.51 ตามลำดับ (Table 1) นอกจากนี้พันธุ์บาเกียว IR1552 และขุนวาง มีค่าการไหลของน้ำผ่านออกจากปากใบน้อยที่สุด 3 อันดับแรกเท่ากับ 1.39, 1.41 และ 1.43 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ โดยพันธุ์ที่มีค่าการไหลของน้ำผ่านออกจากปากใบต่ำจะทนแล้งได้ดีกว่าพันธุ์ที่สูญเสียน้ำออกจากปากใบสูง (Ouyang et al., 2017) ดัชนีวัดการทนแล้งทั้ง 4 ลักษณะให้ผลสอดคล้องกัน แสดงให้เห็นว่า บาเกียว IR1552 และขุนวาง เป็นพันธุ์ข้าวที่ทนแล้งได้ดีกว่าพันธุ์อื่น ๆ ส่วนชีวแม่จัน สามเดือน และเหนียวดำลิ้มผัว ทนแล้งได้ดีปานกลาง เนื่องจากมีสัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้งระหว่าง 0.46-0.49 และค่าการไหลของน้ำผ่านออกจากปากใบ 1.50-1.52 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ สอดคล้องกับรายงานของดวงเดือน โทบุรินทร์ และคณะ (2557) ที่รายงานว่า ข้าวเหนียวดำลิ้มผัวมีความสามารถทนแล้งได้ใกล้เคียงกับข้าวสายพันธุ์ทนแล้งมาตรฐาน DH103 ส่วนขาวดอกมะลิ 105 อาจจัดเป็นพันธุ์ทนแล้งได้ดีปานกลาง เนื่องจากมีดัชนีชี้วัดการทนแล้ง 3 ใน 4 ลักษณะคือ ความยาวรากสูงสุด น้ำหนักรากแห้ง สัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้ง

ไม่แตกต่างทางสถิติกับบาเกียว IR1552 และขุนวาง มีค่าการไหลของน้ำผ่านออกทางปากใบ $1.70 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ สูงกว่าบาเกียว IR1552 และขุนวาง

2. การเจริญเติบโต

การสะสมน้ำหนักแห้งบนลำต้นในระยะ 40 วันแรกหลังออกระหว่างข้าว 14 พันธุ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 1) และในระยะเก็บเกี่ยว พบว่า ข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ที่ร่วมทดสอบมีความสูงและน้ำหนักฟางแห้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้น IR1552 มีความสูงต้นและน้ำหนักฟางแห้งน้อยกว่าข้าวพันธุ์อื่น ๆ ($P \leq 0.01$) (Table 2) โดยพันธุ์ข้าวที่ร่วมทดสอบ 12 จาก 14 พันธุ์ มี ลำต้นสูงปานกลาง ระหว่าง 93.83-102.63 ซม. พญาลิ้มแกงค่อนข้างเตี้ย (87.30 ซม.) ส่วน IR1552 เป็นพันธุ์ต้นเตี้ย (59.10 ซม.) ซึ่งลักษณะต้นเตี้ยเป็นลักษณะที่ดี มักจะทนทานต่อการหักล้มได้ดีกว่าข้าวพันธุ์ต้นสูงและความสูงของลำต้นเป็นลักษณะประจำพันธุ์

Table 1 Root, shoot traits and stomatal conductant of 11 upland rice cultivars tested in a plastic pots with Khao Dawk Mali 105 and 2 exotic check varieties, Baguio and IR1552 in the early rainy season (June-July), 2019.

Varieties	Longest root length (cm)	Root dry wt (g/hill)	Shoot dry wt (g/hill)	Root/shoot dry wt ratio	Stomatal conductant ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
Baguio	50.00a	21.41	34.85	0.61a	1.39i
Pa-yah Leum Gaeng	35.00bcde	17.03	36.09	0.47abcd	1.71bc
IR1552	44.10ab	19.30	35.75	0.53ab	1.41hi
Dawk Pa Yawm	38.53abcd	18.80	42.33	0.44abcd	1.61de
Sew Mae Jan	34.03bcde	21.41	45.79	0.46bcd	1.52fg
Khao Dawk Mali 105	32.17bcde	20.55	42.02	0.48abcd	1.70bcd
Sam Deuan	33.60bcde	22.20	44.82	0.49abcd	1.52fg
Khun Wang	43.23abc	24.59	47.98	0.51abcd	1.43ghi
Leb Nok	36.47abcde	17.39	48.70	0.35d	1.62cde
Niaw Bai Dum	39.87abcd	20.48	38.55	0.53abc	1.61ef
Noot Sara	29.50cde	25.48	56.04	0.45abcd	1.61fg
Sew Gliang	27.63ed	16.89	45.43	0.37cd	2.01a
Niaw Dum Luem Phua	23.63e	25.06	51.13	0.49abcd	1.50hg
Phukaonthong 2	33.77bcde	20.45	55.09	0.37cd	1.78b
F-test	**	ns	ns	**	**
C.V. (%)	13.47	21.11	26.78	12.58	1.62

**Significant difference at 0.01 level, and ns = non-significant difference.

Means within the same column followed by same letters are non-significantly different by DMRT.

3. จำนวนรวง/กอ และความยาวรวง

จำนวนรวง/กอ และความยาวรวงของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ที่ร่วมทดสอบมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.01$) พันธุ์บาเกียวมียาจำนวนรวง/กอ มากที่สุด 31.06 รวง/กอ รองลงมาคือ IR1552 เหนียวดำลิ้มผัว เหนียวใบดำ พญาลิ้มแกงและชีวเกลี้ยง จำนวน 21.20, 15.80, 13.66, 13.60 และ 11.60 รวง/กอ ตามลำดับ (Table 2) ส่วนพันธุ์อื่น ๆ แตกกอค่อนข้างน้อยมี

จำนวนรวง/กอ ระหว่าง 6.80-9.66 รวง/กอ โดยดอกพะยอมมีจำนวนรวงน้อยที่สุด 6.80 รวง/กอ ขณะที่ข้าวดอกมะลิ 105 มีจำนวน 8.60 รวง/กอ

ความยาวรวงพบว่า แตกต่างกัน ($P \leq 0.01$) ระหว่าง 20.63-30.22 ซม. โดยพันธุ์ IR1552 มีรวงสั้นที่สุด 20.63 ซม. เล็บนกมีรวงยาวที่สุด 30.22 ซม. รวงลงมาคือ นุสรา 29.70 ซม. ผลการทดลองใน Table 2 พบว่านอกจาก IR1552 แล้วข้าวพันธุ์อื่น ๆ ที่ร่วมทดสอบมีรวงยาวไม่น้อยกว่า 24.0 ซม.

4. จำนวนดอก/รวง

ข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ที่ร่วมทดสอบมีจำนวนดอก/รวง แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.01$) พันธุ์ข้าวแม่จันมีจำนวนดอกมากที่สุด 981.33 ดอก/รวง รวงลงมาคือ พญาลิ้มแกง เหนียวดำลิ้มผัว บาเกียวกู เขาทอง 2 เล็บนกและ IR1552 มีจำนวนดอก 717.69, 690.60, 575.92, 487.23, 485.81 และ 471.59 ดอก/รวง ตามลำดับ (Table 3) ส่วนข้าวเกลี้ยง ขุนวางและเหนียวใบดำ มีจำนวนดอกน้อยอยู่ระหว่าง 167.78-178.34 ดอก/รวง ขณะที่ข้าวดอกมะลิ 105 มีจำนวน 370.57 ดอก/รวง

Table 2 Growth, number of panicles/hill and panicle length of 11 upland rice cultivars tested on upland field with Khao Dawk Mali 105 and 2 exotic check varieties, Baguio and IR1552 in the rainy season (Aug-Dec), 2019.

Varieties	Plant ht (cm)	culm wt (g/hill)	No. of panicles /hill	Panicle length (cm)
Baguio	97.06ab	65.72ab	31.06a	24.09d
Pa-yah Leum Gaeng	87.30ab	46.98b	13.60bc	25.09cd
IR1552	59.10c	40.51b	21.20ab	20.63e
Dawk Pa Yawm	101.53ad	48.60b	6.80c	26.06cd
Sew Mae Jan	97.83ab	56.24b	8.80c	25.82cd
Khao Dawk Mali 105	101.40a	62.05ab	8.60c	24.56d
Sam Deuan	99.63ab	64.49ab	9.36c	26.32bcd
Leb Nok	101.46a	93.91a	8.66c	30.22a
Niaw Bai Dum	102.63a	53.98b	13.66bc	24.00de
Khun Wang	102.66a	48.12b	9.06c	24.93cd
Noot Sara	98.80ab	55.63b	9.66c	29.70ab
Sew Gliang	93.83ab	62.82ab	11.60bc	24.59d
Niaw Dum Luem Phua	97.46ab	41.16b	15.80bc	25.65cd
Phukaonthong 2	101.10a	64.61a	7.67c	28.34abc
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	4.18	20.95	26.19	4.41

**Significant difference at 0.01 level.

Means within the same column followed by same letters are non-significantly different by DMRT.

5. จำนวนข้าวเต็มเมล็ด/รวงและเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด

จำนวนข้าวเต็มเมล็ด/รวงและเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวแม่จันมีจำนวนข้าวเต็มเมล็ดมากที่สุด 824.52 เมล็ด/รวง รวงลงมาคือ เหนียวดำลิ้มผัว พญาลิ้มแกงและบาเกียวกู จำนวน 537.09, 493.33 และ 477.19 เมล็ด/รวง ตามลำดับ และข้าวเกลี้ยงมีข้าวเต็มเมล็ดน้อยที่สุด 108.09 เมล็ด/รวง ข้าวดอกมะลิ

105 มีข้าวเต็มเมล็ด 224.23 เมล็ด/รวง (Table 3) และพบว่า ข้าวแม่จันและบาเกียวมีเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดสูงไม่แตกต่างกัน (83.09-83.41%) รองลงมาคือ เหนียวดำลิ้มผัว เล็บนกและขุนวาง 77.03, 72.86 และ 71.84% ตามลำดับ โดยภูเขาทอง 2 และขาวดอกมะลิ 105 มีเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดน้อยที่สุด 61.85 และ 60.52% ตามลำดับ สาเหตุที่เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดโดยรวมค่อนข้างต่ำ เนื่องจากพื้นที่ทดลองเป็นดินร่วนทรายซึ่งดินลักษณะนี้ปกติมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ อีกทั้งปริมาณและการกระจายของฝนตลอดฤดูปลูกไม่ดี โดยเฉพาะตั้งแต่วันที่ 24 ต.ค เป็นต้นไป มีฝนตกเพียง 5 ครั้งแต่ละครั้งน้อยกว่า 8.0 มม. ทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะขาวดอกมะลิ 105 สอดคล้องกับรายงานของ Rang et. al. (2011) ที่รายงานว่า การกระทบแล้งทำให้ละอองเกสรมีความสมบูรณ์ลดลง ทำให้เมล็ดข้าวลีบมากขึ้น

6. น้ำหนัก 100 เมล็ด

น้ำหนักข้าวเปลือก 100 เมล็ดของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยพญาลิ้มแกมมีขนาดเมล็ดใหญ่ที่สุดหนัก 4.02 ก./100 เมล็ด รองลงมาคือ เหนียวดำลิ้มผัว เหนียวใบดำและชีวเกลี้ยง น้ำหนัก 100 เมล็ดเท่ากับ 3.59, 3.47 และ 3.34 กรัม ตามลำดับ ขณะที่ภูเขาทอง 2 นุสราและสามเดือน มีขนาดเมล็ดเล็ก น้ำหนัก 100 เมล็ด ระหว่าง 2.13-2.16 กรัม (Table 3) ส่วนขาวดอกมะลิ 105 มีน้ำหนัก 100 เมล็ดใกล้เคียงกับบาเกียวเท่ากับ 2.69 และ 2.73 กรัม ตามลำดับ

7. ผลผลิต

ผลผลิตข้าวเปลือกของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ที่ร่วมทดสอบแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยบาเกียวให้ผลผลิต 139.13 กรัม/กอ สูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ ที่ร่วมทดสอบทุกพันธุ์ รองลงมาคือ พญาลิ้มแกมและ IR1552 ให้ผลผลิต 78.67 และ 72.52 กรัม/กอ ตามลำดับ ภูเขาทอง 2 ให้ผลผลิตต่ำสุด 35.65 กรัม/กอ ส่วนขาวดอกมะลิ 105 ให้ผลผลิต 51.42 กรัม/กอ สูงเป็นอันดับที่ 6 จากพันธุ์ที่ร่วมทดสอบ 14 พันธุ์ การที่พันธุ์บาเกียวให้ผลผลิตสูงกว่าทุกพันธุ์ เนื่องจากแตกกอมาก (31.06 รวง/กอ) และเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดสูง (83.09%) ส่วนพญาลิ้มแกมซึ่งให้ผลผลิตสูงเป็นลำดับที่ 2 เนื่องจากทรงมีขนาดใหญ่ ติดดอกมากถึง 717.69 ดอก/รวง และเมล็ดมีขนาดใหญ่ น้ำหนัก 100 เมล็ดสูงถึง 4.02 กรัม ส่วนภูเขาทอง 2 ซึ่งให้ผลผลิตต่ำสุด เนื่องจากแตกกอน้อย (7.67 รวง/กอ) และเมล็ดมีขนาดเล็ก น้ำหนัก 100 เมล็ดเพียง 2.13 กรัม

Table 3 Yield and yield components of 11 upland rice cultivars tested on upland field with Khao Dawk Mali 105 and 2 exotic check varieties, Baguio and IR1552 in the rainy season (Aug-Dec), 2019.

Varieties	No. of spikelets/panicle	No. of filled grains/panicle	Percentage of filled grain (%)	100 grain wt (g)	Grain yield (g/hill)
Baguio	575.92bcd	477.19bc	83.09ab	2.73cde	139.13a
Pa-yah Leum Gaeng	717.69ab	493.33bc	68.81bcd	4.02a	78.67b
IR1552	471.59bcde	344.23bdc	69.92abcd	2.32de	72.52bc
Dawk Pa Yawm	342.64de	232.38cde	68.62cd	2.23de	56.75bc
Sew Mae Jan	981.33a	824.52a	83.41a	2.27de	54.76bc
Khao Dawk Mali 105	370.57cde	224.23cd	60.52d	2.69cde	51.42bc
Sam Deuan	332.55de	216.60cd	65.54cd	2.16e	50.52bc
Khun Wang	169.95e	122.37d	71.84abcd	3.06bcd	46.20bc
Leb Nok	485.81bcde	352.93bcd	72.86abcd	2.21de	45.94bc
Niaw Bai Dum	178.34e	122.70d	68.78cd	3.47abc	44.18bc
Noot Sara	378.50cde	247.91cd	65.79cd	2.13e	42.13bc
Sew Gliang	167.78e	108.09d	64.46cd	3.34abc	40.48bc

Niaw Dum Luem Phua	690.60abc	537.09b	77.03abc	3.59ab	39.77c
Phukaothong 2	487.23bcde	302.26bcd	61.85d	2.13e	35.65c
F-test	**	**	**	**	**
C.V. (%)	24.31	28.97	6.76	8.75	22.45

**Significant difference at 0.01 level.

Means within the same column followed by same letters are non-significantly different by DMRT.

สรุปผลการศึกษา

1. การประเมินศักยภาพการทนแล้งของข้าวไร่น้ำพันธุ์แนะนำและพันธุ์พื้นเมืองดีเด่น 11 พันธุ์ร่วมกับบาเกียว IR1552 และข้าวดอกมะลิ 105 ที่อายุ 40 วันหลังปลูก พบว่า พันธุ์บาเกียว มีดัชนีการทนแล้งดีที่สุดเนื่องจากมีรากยาวมากที่สุด และสัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้งสูงที่สุด ขณะที่การสูญเสียผ่านปากใบต่ำที่สุด โดย IR1552 และขุนวาง เป็นพันธุ์ที่มีดัชนีการทนแล้งสูงเป็นอันดับ 2 และ 3 รองจากบาเกียว โดยชีวเคมีมีดัชนีทนแล้งน้อยกว่าพันธุ์อื่น ๆ

2. ภายใต้สภาวะเครียดแล้ง (drought stress) ปริมาณน้ำฝนน้อย กระจายไม่สม่ำเสมอและดินร่วนทราย พบว่า พันธุ์บาเกียว ให้ผลผลิตสูงสุด (139.13 กรัม/กอ) เนื่องจากแตกกอมากที่สุดและดัชนีทนแล้งดีที่สุด รองลงมาคือ พญาลิ้มแกง ให้ผลผลิต 78.67 กรัม/กอ เนื่องจากมีจำนวนดอก/รวงมาก (717.69 ดอก/รวง) และเมล็ดมีขนาดใหญ่ (4.02 กรัม/100 เมล็ด) กว่าพันธุ์อื่น ๆ ส่วนข้าวดอกมะลิ 105 ผลผลิตสูงปานกลาง 51.42 กรัม/กอ และภูเขาทอง 2 ผลผลิตต่ำสุด 35.65 กรัม/กอ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้ของคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และได้รับความอนุเคราะห์ให้ใช้พื้นที่ทดลองจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนางสาววศินี จันทรขุม และนางสาวพิมพ์พิสุทธิ์ บุญโสภณ ที่มีส่วนช่วยอย่างมากสำหรับการเก็บบันทึกข้อมูลผลการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- กฤษฎาพร ผลวงษ์, ธาณี ศรีวงศ์ชัย, เชนษฎ์ ม้าลำพอง และประภา ศรีพิจิตร. 2561. การประเมินลักษณะรากข้าวในประชากรข้าวที่ 2 จากกลุ่มสมระหว่างข้าวนาสวนและข้าวไร่. *Thai Journal of Science and Technology* 7(5): 471-480.
- กองวิจัยและพัฒนาข้าว. 2565. พันธุ์ข้าว. กรมการข้าว. <https://webold.ricethailand.go.th/rkb3/Varieties.htm> (23 กุมภาพันธ์ 2565).
- ชูศักดิ์ จอมพุท. 2555. สถิติ : การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยด้านพืชด้วย R. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ดวงเดือน โทปรินทร์, ยุติดา สกลทอง, ปัญญา มาดี, ปิยดา ธีรกุลพิศุทธิ์, จิรวัดณ์ สนิทชน และวัฒน์ชัย ลั่นทม. 2557. ผลของความเครียดแล้งต่อคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ ดัชนีความเขียวและค่าคลอโรฟิลล์ในใบของข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่ว (*Oryza sativa* L.cv. Luemphua) ในระยะกล้า. ใน *รายงานการประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 3*. น. 23-26. โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ คอนเวนชั่น, กรุงเทพมหานคร.
- พีระยศ แข็งขัน และอนันต์ พลธานี. 2539. ผลของการให้น้ำในระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105. *วารสารแก่นเกษตร* 12(3): 256-262.
- สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. 2565. Rice Exports Statistics. http://www.thairiceexporters.or.th/statistic_2021.html (10 พฤษภาคม 2565).
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร. ข้าวนาปี 2563. <http://www.oae.go.th/production.html> (9 พฤษภาคม 2565).
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร. ข้าวนาปรัง ปี 2562/63. <http://www.oae.go.th/download/prcaai/DryCrop/majorrice/3-60.pdf> (9 พฤษภาคม 2565).
- AtlasBig. 2022. World Rice Production by Country. <https://www.atlasbig.com/en-au/countries-by-rice-production>. (27 April, 2022).

- IRRI (International Rice Research Institute). 2009. Rough rice production by country and geographical region-USDA. www.irri.org/science/ricestat (27 April 2018).
- Kanbar, A., Toorchi, M., and Shashidhar, H. E. 2009. Relationship between root and yield morphological characters in rainfed low land rice (*Oryza sativa* L.). *Cereal Research Communications* 37: 261-268.
- MacMillan, K., Emrich, K., Piepho, H. P., Mullins, C. E., and Price, A. H. 2006. Assessing the importance of genotype x environment interaction for root traits in rice using a mapping population II: conventional QTL analysis. *Theoretical and Applied Genetics* 113(5): 953-964.
- Ouyang, W., Struik, P. C., Yin, X., and Yang, J. 2017. Stomatal conductance, mesophyll conductance, and transpiration efficiency in relation to leaf anatomy in rice and wheat genotypes under drought. *Journal of Experimental Botany* 68(18): 5191-5205.
- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> (4 July 2022).
- Rang, Z.W., Jagadish, S. V. K., Zhou, Q. M., Craufurd, P. Q., and Heuer, S. 2011. Effect of high temperature and water stress on pollen germination and spikelet fertility in rice. *Environmental and Experimental Botany* 70: 58-65.
- Sabetfar, S., Ashouri, M., Amiri, E., and Babazadeh, S. 2013. Effect of drought stress at different growth stages on yield and yield component of rice plant. *Persian Gulf Crop Protection* 2(2): 14-18.
- Srividhya, A., Vemireddy, L. R., Sridhar, S., Jayaprada, M., Ramanarao, P. V., Hariprasad, A. S., Reddy, H. K., Anuradha, G., and Siddiq, E. 2011. Molecular mapping of QTLs for yield and its components under two water supply conditions in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Crop Science and Biotechnology* 14(1): 45-56.

วันรับบทความ (Received date) : 25 มิ.ย. 65

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 5 ก.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 22 ก.ค. 65

การพัฒนาเว็บไซต์โครงการประกาศกฎบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย

A Website Development of Thai Sustainable Seafood Manifesto Project

รัตตมา รัตนวงศา¹ และกุลชัย กุลตวนิช^{1*}

Rattama Rattanawongsa¹ and Kulachai Kultawanich^{1*}

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาแนวทางการกำหนดแผนดำเนินงานในการประกาศกฎบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย 2) พัฒนาเว็บไซต์โครงการฯ และ 3) ศึกษาความคิดเห็นของผู้ใช้งานเว็บไซต์โครงการฯ โดยมีการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ระยะ มีวิธีการเก็บข้อมูลดังนี้ 1) ศึกษาเอกสารและสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ 2) พัฒนาเครื่องมือและทดลอง และ 3) ศึกษาความคิดเห็นโดยใช้แบบสอบถาม กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาแนวทางในการประกาศกฎบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนฯ คือ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการประกอบธุรกิจอาหารทะเล จำนวน 5 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและเว็บไซต์ จำนวน 5 ท่าน ที่ได้มาจากการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาความคิดเห็นที่มีต่อการใช้งานเว็บไซต์โครงการฯ คือ ผู้ประกอบการ นักวิชาการ และบุคคลทั่วไปที่ให้ความสนใจเข้าร่วมงานสัมมนา SB'20 Chantaboon จำนวน 56 คน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้แก่ 1) แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง และ 2) แบบสอบถามความคิดเห็น วิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า มาตรฐานการประกอบธุรกิจอาหารทะเลแบบยั่งยืนทั้ง 12 ข้อ สามารถจำแนกออกได้เป็นแนวปฏิบัติของ 3 กลุ่มของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในโครงการฯ ได้แก่ กลุ่มที่ 1 การดูแลห่วงโซ่ต้นน้ำ (การซื้อ) กลุ่มที่ 2 การดูแลห่วงโซ่กลางน้ำ (การผลิต) และ กลุ่มที่ 3 การดูแลห่วงโซ่ปลายน้ำ (การขาย) แผนการดำเนินงานสำหรับการประกาศกฎบัตรแบ่งได้เป็น 4 ระยะ และผลการศึกษาความคิดเห็นของผู้ใช้งานเว็บไซต์ พบว่า ในภาพรวมกลุ่มตัวอย่างเห็นด้วยกับประเด็นการออกแบบและเนื้อหาที่มีบนเว็บไซต์ อยู่ในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ: การพัฒนาเว็บ การเผยแพร่ข้อมูล มาตรฐานการประกอบธุรกิจอาหารทะเล แนวปฏิบัติ ผู้ประกอบการอาหารทะเล

Abstract

The aims of this research were to; 1) study the guidelines for determining the implementation plan for a Thai sustainable seafood project, 2) develop a project website, and 3) study the user's opinions of the website. Research methodology was divided into 3 stages: 1) review of documents and expert interviews, 2) development of instruments and experiments, and 3) opinion study using a questionnaire. The sample group used in this study were 5 experts in the seafood business and 5 experts in content and websites, who had been recruited using the purposive sampling method. In addition, another sample group consisting of 56 academics, entrepreneurs, and persons who had participated in the SB'20 Chantaboon seminar were chosen to study opinions on the use of the project website. The instruments used to collect data included: 1) a semi-structured interview form, and 2) opinion questionnaires. Data were analyzed using average, percentage, and standard deviation. The results indicated that the 12 sustainable seafood business standards could be divided up as guidelines for 3 stakeholder groups, namely Group 1 Upstream Chain Care (Purchasing), Group 2 Midstream Chain Care (Producing), and Group 3 Downstream Chain Care (Sales). The operational plan for this project could be divided into four phases, and a study of user opinions found that the sample group members agreed with the overall design and content of the website at the highest level.

Keywords: web development, dissemination, manifesto, seafood entrepreneurs

¹ภาควิชานวัตกรรมสื่อสารและพัฒนาการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

¹Department of Innovative Communication and Agricultural Development, School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520

*Corresponding author, Email: kulachai.ku@kmitl.ac.th

คำนำ

จากการประชุมสมัชชาสหประชาชาติสมัยสามัญครั้งที่ 70 (The 70th session of the United Nations General Assembly) เมื่อวันที่ 25 กันยายน 2558 ณ สำนักงานใหญ่สหประชาชาตินครนิวยอร์ก ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้รับรองวาระการพัฒนาที่ยั่งยืน ค.ศ. 2030 (The 2030 Agenda for Sustainable Development) และเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) เพื่อให้ประเทศต่าง ๆ นำไปปฏิบัติให้บรรลุผลสำเร็จเกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนในด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในช่วงระยะเวลา 15 ปี (เดือนกันยายน 2558 - สิงหาคม 2573) โดยประเด็นสำคัญของวาระเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนหรือ SDGs นั้น มีทั้งหมด 3 มิติ คือ เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

ประเทศไทย ในฐานะสมาชิกประเทศหนึ่งขององค์การสหประชาชาติ มีความเห็นพ้องที่จะดำเนินงานสอดคล้องกับกรอบการพัฒนาที่ยั่งยืนตาม SDGs จึงนำประเด็นภายในมาประกอบการวางทิศทางแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560-2564) เพื่อให้ทุกภาคร่วมสร้างสังคมที่เป็นสุขลดความเหลื่อมล้ำทางสังคมขจัดปัญหาความยากจนส่งเสริมการเป็นเศรษฐกิจสีเขียว มีการผลิตและบริโภคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยมีภาคส่วนต่าง ๆ ให้ความสนใจและนำแนวทางไปดำเนินงานมากขึ้น

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในฐานะส่วนหนึ่งของหน่วยงานราชการไทยซึ่งมีปรัชญาในการพัฒนาการศึกษา วิจัย ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นรากฐานที่ดีของการพัฒนาประเทศ จึงมุ่งมั่นตอบรับแนวทางการพัฒนาของรัฐบาลด้วยการให้การศึกษาและวิจัยเพื่อผลิตทรัพยากรมนุษย์ที่มีความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ควบคู่จริยธรรม และรักษาไว้ซึ่งศิลปวัฒนธรรมอันดีของประเทศ และเข้าร่วมจัดโครงการประกาศกฎบัตรในกลุ่มผู้ประกอบการอาหารเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเล (Thai chefs for good manifesto) เพื่อยกระดับมาตรฐานอุตสาหกรรมอาหารทะเลไทยตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ (การผลิต/การขนส่ง/ร้านอาหาร) เพื่อตอบรับนโยบายของรัฐบาลไทยที่มุ่งมั่นพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืนใน 3 มิติ คือ เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ตามแนวทางของ SDGs และตอบรับสถานการณ์ที่มหาสมุทรกำลังวิกฤติ ภาวะโลกร้อน อุณหภูมิน้ำทะเลเปลี่ยนแปลง และมลภาวะต่าง ๆ เช่น ขยะทะเล กำลังส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลอย่างมาก

เพื่อให้โครงการเห็นผลเป็นรูปธรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จึงร่วมมือกับเครือข่าย Sustainable Brands ประเทศไทย เพื่อดำเนินการหาแนวทางการประกาศกฎบัตรในกลุ่มผู้ประกอบการอาหารเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทยขึ้นเป็นครั้งแรก ซึ่งเกิดขึ้นในงานสัมมนา Sustainable Brands (SB) ครั้งที่ 5 ในประเทศไทย “SB’19 Ocean & Beyond, Chumphon” ที่ได้จัดขึ้นระหว่างวันที่ 25-26 ตุลาคม 2562 ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร โดยมีการจัดประชุมกลุ่มผู้ประกอบการอาหารทะเลเพื่อระดมหาแนวทางในการกำหนดมาตรฐานการดำเนินการสำหรับผู้ประกอบการอาหารทะเลในประเทศไทย ซึ่งได้ข้อตกลงร่วมกันทั้งหมด 12 ประการ เพื่อให้การดำเนินโครงการเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถสื่อสารข้อมูลได้อย่างมีแบบแผน และเป็นวงกว้าง และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการโฆษณาประชาสัมพันธ์ โดยผู้เข้าร่วมสามารถติดต่อสอบถามข้อมูลได้ตลอดเวลา อีกทั้งยังเป็นการเสริมภาพลักษณ์ ยกย่องมาตรฐานของโครงการ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาเว็บไซต์สำหรับเผยแพร่ข้อมูลและแผนการดำเนินงานของโครงการ

วิธีการศึกษา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาแนวทางการกำหนดมาตรฐาน

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาแนวทางและแผนการดำเนินงานเพื่อการประกาศกฎบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย ในระยะดำเนินงานที่ 1 ได้แก่ 1) ผู้ประกอบการ หรือนักวิชาการที่มีความเกี่ยวข้องกับการประกอบธุรกิจอาหารทะเล และ 2) ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเนื้อหาและเว็บไซต์

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาแนวทางและแผนการดำเนินงานเพื่อการประกาศกฎบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย ในระยะดำเนินงานที่ 1 ได้แก่

1) ผู้ประกอบการ หรือนักวิชาการที่มีความเกี่ยวข้องกับการประกอบธุรกิจอาหารทะเล จำนวน 5 ท่าน ด้วยวิธีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณา ดังนี้

- เป็นนักวิชาการ หรือผู้ประกอบการที่มีความเกี่ยวข้องกับการประกอบธุรกิจอาหารทะเล
- มีส่วนเกี่ยวข้อง หรือมีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประกอบการอาหารทะเล

- ประกอบอาชีพมาแล้วไม่ต่ำกว่า 5 ปี
- 2) ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน แบ่งออกเป็น 1) ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา จำนวน 2 ท่าน และ 2) ผู้เชี่ยวชาญด้านเว็บไซต์ จำนวน 3 ท่าน โดยใช้วิธีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง มีเกณฑ์ในการพิจารณา ดังนี้
 - เป็นนักวิชาการที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านการประกอบธุรกิจอาหารทะเล/การพัฒนาเว็บไซต์
 - มีส่วนเกี่ยวข้อง หรือมีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
 - ประกอบอาชีพมาแล้วไม่ต่ำกว่า 5 ปี
- 2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาความคิดเห็นที่มีต่อการใช้งานเว็บไซต์โครงการ

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาความคิดเห็นที่มีต่อการใช้งานเว็บไซต์โครงการประกาศกฎบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย ได้แก่ นักวิชาการ ผู้ประกอบการ และบุคคลทั่วไป ที่เข้าร่วมงานสัมมนาวิชาการ SB Chantaboon 2020 ระหว่างวันที่ 10-11 กุมภาพันธ์ 2563

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาความคิดเห็นที่มีต่อการใช้งานเว็บไซต์โครงการประกาศกฎบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย ได้แก่ นักวิชาการ ผู้ประกอบการ และบุคคลทั่วไป ที่ได้มาจากการสุ่มแบบตามสะดวก จำนวน 56 คน ที่เข้าร่วมงานสัมมนาวิชาการ SB Chantaboon 2020 ระหว่างวันที่ 10-11 กุมภาพันธ์ 2563

เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญแบบกึ่งโครงสร้าง (semi-structured interview) ด้านการประกอบธุรกิจอาหารทะเล และด้านการตลาดและประชาสัมพันธ์ ประกอบไปด้วยข้อมูล 2 ส่วน คือ

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ ชื่อ นามสกุล ตำแหน่ง และประสบการณ์ที่เกี่ยวข้อง
2. แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับการประกอบธุรกิจอาหารทะเล/การตลาดและประชาสัมพันธ์

แบบสอบถามความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้งานเว็บไซต์โครงการประกาศกฎบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย มีเนื้อหาแบ่งออกเป็น 3 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ สถานที่ที่เข้าร่วมงาน เป็นแบบเลือกตอบ (multiple choice questions) จำนวน 2 ข้อ

ตอนที่ 2 แบบสอบถามความคิดเห็นจากการใช้งาน เป็นแบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ของ Likert scale (close ended questions) จำนวน 12 ข้อ แบ่งออกเป็นด้านเนื้อหา 6 ข้อ และด้านการออกแบบสื่อ 6 ข้อ

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะ เป็นแบบสอบถามปลายเปิด (open questionnaire) จำนวน 1 ข้อ

ขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นงานวิจัยและพัฒนาเพื่อกำหนดแนวทางในการดำเนินงานและพัฒนาเว็บไซต์โครงการประกาศกฎบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย โดยแบ่งระยะการดำเนินการออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 ศึกษาแนวทางในการดำเนินงานเพื่อพัฒนาเว็บไซต์โครงการประกาศกฎบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย

1.1 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี หลักการ และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานสำหรับผู้ประกอบธุรกิจอาหารทะเลแบบยั่งยืน

1.2 นำเสนอข้อมูลจากการระดมสมองของผู้ประกอบการที่ได้จากงาน SB'19 Ocean & Beyond, Chumphon ร่วมกับการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านการประกอบธุรกิจอาหารทะเลแบบกึ่งโครงสร้างจนครบทั้ง 5 ท่าน

1.3 วิเคราะห์และสรุปผลการสัมภาษณ์เพื่อกำหนดร่างมาตรฐานการประกอบธุรกิจอาหารทะเลแบบยั่งยืนสำหรับผู้ประกอบการในประเทศไทย

1.4 นำเสนอร่างมาตรฐานการประกอบธุรกิจอาหารทะเลแบบยั่งยืน ร่วมกับการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างกับผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและเว็บไซต์จนครบทั้ง 5 ท่าน

1.5 วิเคราะห์และสรุปผลการสัมภาษณ์เพื่อกำหนดแผนการดำเนินงานและพัฒนาเว็บไซต์โครงการประกาศกฎบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย

ระยะที่ 2 พัฒนาเว็บไซต์โครงการประกาศกฎบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย

2.1 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี หลักการ และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเว็บไซต์

2.2 ร่างต้นแบบของเว็บไซต์พร้อมจัดทำแผนผังโครงสร้างเพื่อนำเสนอผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและพัฒนาเว็บไซต์

2.3 นำร่างต้นแบบและแผนผังโครงสร้างไปตรวจสอบความสอดคล้อง (IOC) กับผู้เชี่ยวชาญทางด้านสื่อจำนวน 5 ท่าน โดยผลการประเมินความสอดคล้องจากผู้เชี่ยวชาญมีค่ามากกว่า 0.60 ทุกรายการ

2.4 พัฒนาระบบเว็บไซต์และนำไปทดลองกับกลุ่มเทียบเคียงกลุ่มตัวอย่างแบบ 1 ต่อ 1 เพื่อปรับแก้รายละเอียดการทำงานและการแสดงผล เพื่อนำไปเสนอให้กลุ่มตัวอย่างทดลองใช้งานต่อไป

ระยะที่ 3 ศึกษาความคิดเห็นของผู้ใช้งานเว็บไซต์โครงการประกาศกฏบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย

3.1 นำเสนอเว็บไซต์ให้กลุ่มตัวอย่างที่มาร่วมงานได้ทดลองใช้ผ่านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่จัดเตรียมไว้ ณ จุดเก็บข้อมูลภายในงาน โดยมีผู้ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลจำนวน 56 คน

3.2 แจกแบบสอบถามความคิดเห็นให้ผู้ร่วมทดลองใช้งานเว็บไซต์หลังจากทดลองใช้งาน

3.3 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลองใช้งานของกลุ่มตัวอย่าง

3.4 ปรับปรุงเว็บไซต์ตามข้อค้นพบและข้อเสนอแนะที่ได้จากการทดลอง

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อพัฒนาแผนดำเนินโครงการประกาศกฏบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย จากการศึกษาเอกสาร และการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ สามารถสรุปเป็นประเด็นได้ดังนี้

1.1 ห่วงโซ่การผลิตของอุตสาหกรรมอาหารทะเลไทยมีความเกี่ยวพัน 3 มิติ ได้แก่

1) มิติของการผลิต ซึ่งมีผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ได้แก่ ชุมชนผู้จับปลา ผู้เพาะพันธุ์สัตว์น้ำ ฟาร์มสัตว์น้ำ และโรงงานการผลิต

2) มิติของการจัดจำหน่าย ซึ่งมีผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ได้แก่ บริษัทขนส่งอาหารทะเล พ่อค้าส่งอาหารทะเล ห้างสรรพสินค้าขายส่ง และพ่อค้าอาหารสด

3) มิติของผู้จำหน่าย ซึ่งมีผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ได้แก่ ผู้จำหน่ายและเสิร์ฟอาหารทะเล เช่น ร้านอาหารทะเลท้องถิ่น ภัตตาคารอาหารทะเล และโซนอาหารทะเลในโรงแรม

1.2 จุดมุ่งหมายของการประกอบธุรกิจอาหารทะเลแบบยั่งยืน สามารถสรุปเป็นประเด็นสำคัญได้ทั้งสิ้น 4 ประเด็น ได้แก่

1) พัฒนามาตรฐานอุตสาหกรรมอาหารทะเลไทย เนื่องจากไทยเป็นประเทศผู้ผลิตอาหารทะเลรายสำคัญของโลก ดังนั้น การสร้างกฏบัตรในกลุ่มผู้ประกอบการอาหารเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทยจึงเป็นเรื่องสำคัญ

2) พัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้ประกอบการเกี่ยวกับอาหารทะเล มุ่งมั่นพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้ประกอบการและลูกจ้างที่ทำงานอยู่ในห่วงโซ่การผลิตของอุตสาหกรรมไทย ตั้งแต่ ผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ธุรกิจขนส่ง ค้าปลีก/ส่ง จนถึงเจ้าของกิจการร้านอาหาร

3) ส่งเสริมการประกอบกิจการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ให้ความรู้และส่งเสริมให้ผู้ประกอบการด้านอาหารทะเลเห็นความสำคัญของการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งนอกจากจะประหยัดต้นทุนและส่งเสริมการตลาด ยังสร้างจิตสำนึกที่ดีแก่ประชาชนทั่วไป

4) สร้างมาตรฐานอาหารทะเลไทยสู่อาหารระดับโลก พัฒนาอาหารทะเลไทยให้มีความรุ่งเรืองทางวัฒนธรรมผ่านเรื่องราวของวัฒนธรรมและความพิถีพิถันในการคัดสรรวัตถุดิบ การปรุง และการนำเสนออาหาร มื้ออาหาร

1.3 แนวทางกำหนดมาตรฐานและเกณฑ์การพิจารณาคุณภาพการประกอบธุรกิจอาหารทะเลแบบยั่งยืน 12 ประการที่ได้ข้อสรุปมาจากการลงนามของกลุ่มผู้ประกอบการ อาจจำแนกแนวทางการดำเนินการออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 การดูแลห่วงโซ่ต้นน้ำ (การซื้อ)

มาตรฐานที่ 1 การตรวจเช็คคุณภาพและปริมาณของวัตถุดิบ

มาตรฐานที่ 2 ความรู้เรื่องอาหารทะเลตามฤดูกาลของไทย

มาตรฐานที่ 3 ความรู้เรื่องธรรมชาติและระบบนิเวศของสัตว์น้ำ

มาตรฐานที่ 4 กฎหมายและจรรยาบรรณ

- มาตรฐานที่ 5 การเลือกซื้อและเลือกใช้วัตถุดิบจากท้องถิ่น
- กลุ่มที่ 2 การดูแลห่วงโซ่กลางน้ำ (การทำ)
- มาตรฐานที่ 6 แนวทางการประกอบอาหารตามฤดูกาล
- มาตรฐานที่ 7 ไม่ผลิตอาหารทะเลผิดกฎหมาย
- มาตรฐานที่ 8 ความปลอดภัยทางอาหาร (food safety)
- มาตรฐานที่ 9 แนวทางสู่การลดการสูญเสียทางอาหารให้เป็นศูนย์
- กลุ่มที่ 3 การดูแลห่วงโซ่ปลายน้ำ(การขาย)
- มาตรฐานที่ 10 แนวทางการสร้างระบบสืบค้นย้อนกลับ (traceability)
- มาตรฐานที่ 11 หลักประกันการบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน
- มาตรฐานที่ 12 การกระจายโอกาสอย่างเท่าเทียมและเป็นธรรม

1.4 จากแนวทางดำเนินโครงการประกาศกฏบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย สามารถสรุปแผนการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่

ช่วงที่ 1 ยกร่าง 12 มาตรฐานและเกณฑ์การพิจารณาคุณภาพการประกอบธุรกิจอาหารทะเลแบบยั่งยืน โดยเพิ่มรายละเอียดจากองค์ความรู้ของนักวิชาการ ผู้เชี่ยวชาญ และระดมความรู้จากผู้ประกอบกิจการอาหารทะเล

ช่วงที่ 2 นำ 12 มาตรฐานและเกณฑ์การพิจารณาคุณภาพการประกอบธุรกิจอาหารทะเลแบบยั่งยืนบรรจุไว้ในแผนการเรียนการสอนของหน่วยงานหรือสถาบันการศึกษาที่เข้าร่วมโครงการ

ช่วงที่ 3 สร้างแผนประชาสัมพันธ์เพื่อเผยแพร่ 12 มาตรฐานและเกณฑ์การพิจารณาคุณภาพการประกอบธุรกิจอาหารทะเลแบบยั่งยืน แก่กลุ่มผู้ประกอบการอาหารทะเลที่มีความพร้อมทางธุรกิจ และมีความสนใจปรับเปลี่ยนร้านค้าเป็นผู้ประกอบการอาหารทะเลแบบยั่งยืน ที่รับรองโดย Sustainable Brands

ช่วงที่ 4 เตรียมความพร้อมให้หน่วยงานที่รับผิดชอบสามารถรับรองมาตรฐาน (certification body) เพื่อจัดอบรมให้ความแก่ผู้ประกอบการ ออกประกาศนียบัตรและตราสัญลักษณ์รับรองธุรกิจที่ปฏิบัติตาม และผ่านมาตรฐานการเป็น Sustainable Brands โดยสรุปขั้นตอนการขอใบประกาศ ดังนี้

- ลงทะเบียนจองคอร์สเรียนล่วงหน้า
- ทำแบบทดสอบก่อนเรียนเพื่อทดสอบความรู้เกี่ยวกับการประกอบอาหารทะเลแบบยั่งยืน
- เข้ารับการอบรมหลักสูตรระยะสั้น
- ได้รับประกาศนียบัตร

กระบวนการเรียนรู้เพื่อเป็นผู้ประกอบการกิจการอาหารทะเลที่ได้มาตรฐานนั้น ต้องผ่านการทดสอบความรู้ความสามารถทั้งทางทฤษฎี การปฏิบัติ และสถาบันยังมีการตรวจสอบหลังผ่านการฝึกอบรมเพื่อรักษาคุณภาพ นอกจากนี้ยังมีการระบุถึงขั้นตอนการขอตราสัญลักษณ์ ซึ่งสามารถดำเนินการได้ ดังนี้

- ลงทะเบียนร้องขอผู้เชี่ยวชาญให้ตรวจสอบ
- ผู้เชี่ยวชาญลงพื้นที่เพื่อติดตามการปฏิบัติตามของธุรกิจ
- ผู้ประกอบการที่ผ่านการตรวจสอบมาตรฐานได้รับตราสัญลักษณ์
- ผู้เชี่ยวชาญสุ่มลงพื้นที่เพื่อติดตามธุรกิจอีกครั้งเพื่อรับรองคุณภาพเป็นระยะ

2. ผลการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์โครงการประกาศกฏบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย

เว็บไซต์ของโครงการประกอบด้วย โมดูลทั้งหมด 4 ส่วน แบ่งตามระยะแผนการดำเนินงานที่ได้จากผลการวิจัยในระยะที่ 1 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) โมดูลให้ความรู้เกี่ยวกับการประกาศกฏบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย เป็นโมดูลให้ข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นเกี่ยวกับการประกาศกฏบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย แสดงผลที่หน้า Home, ABOUT US และ Manifesto (Figure 1)



Figure 1 Depict a Homepage of the project.

Source: Thai chefs for good (2020).

2) โมเดลหลักสูตรฝึกอบรม เป็นโมเดลที่ออกแบบเพื่อรองรับการลงทะเบียนล่วงหน้าสำหรับผู้สนใจเข้าร่วมอบรมจากโครงการ แสดงภาพตัวอย่างใบประกาศ รวมถึงระบบการดำเนินงานทั้ง 4 ขั้นตอน พร้อมปุ่มเชื่อมโยงไปยังระบบลงทะเบียน (Figure 2)

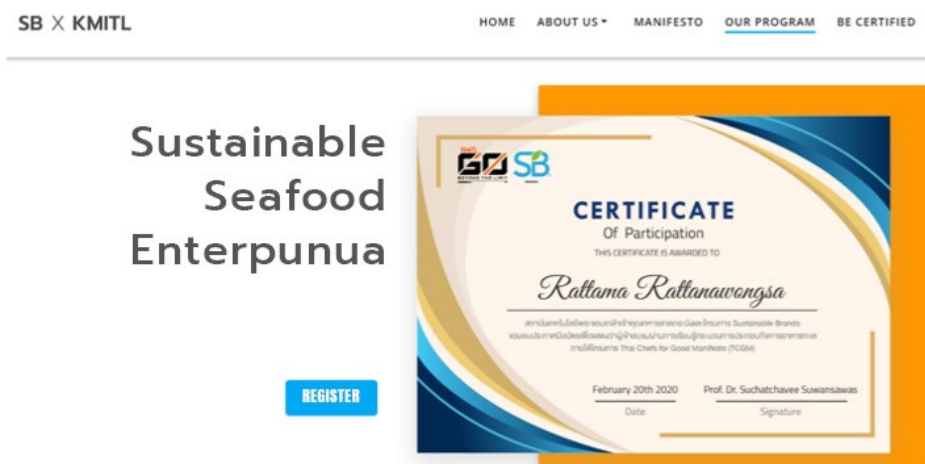


Figure 2 Depict an enrollment system and replica of certification.

Source: Thai chefs for good (2020).

3) โมเดลข่าวสารและเอกสารประกอบ เป็นโมเดลที่สามารถติดตามความเคลื่อนไหวของโครงการ ข่าวสารต่าง ๆ รวมถึงดาวน์โหลดสื่อประชาสัมพันธ์อื่น ๆ ของโครงการ (Figure 3)



Figure 3 A brochure reader inside the Resource Menu.

Source: Thai chefs for good (2020).

4) โมเดลการขอออกตราสัญลักษณ์ เป็นส่วนของระบบที่รองรับระบบการร้องขอตราสัญลักษณ์จากโครงการ ซึ่งสามารถดำเนินการตามขั้นตอนทั้ง 4 ที่แสดงผลในหน้าเมนู BE CERTIFIED (Figure 4)

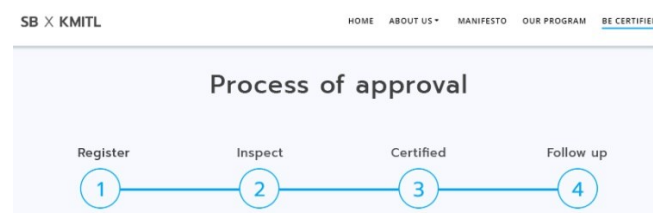


Figure 4 Depict a process of certification mark request.

Source: Thai chefs for good (2020).

3. ผลการศึกษาความคิดเห็นที่มีต่อเว็บไซต์เพื่อเผยแพร่ข้อมูลมาตรฐานการประกอบธุรกิจอาหารทะเลแบบยั่งยืน ผลการวิเคราะห์จากแบบสอบถามความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 56 คน ซึ่งผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นเพศหญิง 24 คน คิดเป็นร้อยละ 42.85 และเพศชาย 32 คน คิดเป็นร้อยละ 57.15 กลุ่มสถานะของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีมากที่สุด ได้แก่ บุคคลทั่วไป จำนวน 27 คน คิดเป็นร้อยละ 48.22 รองลงมา คือ ผู้ประกอบการจำนวน 19 คน และนักวิชาการจำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 33.92 และ 17.89 ตามลำดับ ผลการศึกษาความคิดเห็น มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

Table 1 The sample's opinion toward the designs and contents of website (n = 56).

Opinions	($\bar{X}$)	S.D.	Meaning
Designs			
1. The website is easy to access.	4.84	0.50	Strongly Agree
2. The design of this website grabs your attention.	4.73	0.53	Strongly Agree
3. The website features meet your expectations.	4.76	0.50	Strongly Agree
4. The use of colors represents the project's identity.	4.78	0.62	Strongly Agree
5. The typography on this website is suitable for reading.	4.58	0.76	Strongly Agree
6. The use of images matches the website contents.	4.69	0.79	Strongly Agree
Contents			
1. The information on the website is accurate.	4.73	0.58	Strongly Agree
2. The information about the seafood manifesto led to the action.	4.71	0.59	Strongly Agree

Opinions	($\bar{X}$)	S.D.	Meaning
3. The information on the website is reliable.	4.67	0.58	Strongly Agree
4. The contents categories were well organized.	4.78	0.65	Strongly Agree
5. The website provides sufficient information.	4.58	0.64	Strongly Agree
6. The information on the website gives benefits to your business.	4.82	0.44	Strongly Agree
Total mean	4.67	0.61	Strongly Agree

จาก Table 1 ผลการตอบแบบประเมินความคิดเห็นในภาพรวม จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 56 คน มีค่าเฉลี่ยรวมของระดับความคิดเห็นอยู่ที่ 4.67 (S.D. = 0.61) อยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด เมื่อพิจารณารายชื่อในการออกแบบสื่อ พบว่าความคิดเห็นที่มีต่อการเข้าถึงเว็บไซต์ มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 4.84 (S.D. = 0.62) อยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ รัฐธีร ปภัสสรียาโชติ และอรนุช เศรษฐรัตน์เสถียร (2556) ที่กล่าวว่าประเภทของเทคโนโลยีเว็บไซต์ที่ช่วยให้ผู้ใช้งาน เข้าถึงได้ง่ายและได้รับการโต้ตอบอย่างรวดเร็วที่สุด คือ ระบบส่งข้อความแบบโต้ตอบทันที ความคิดเห็นที่มีต่อการใช้สีในการออกแบบเว็บไซต์มีค่าเฉลี่ยรองลงมา คือ 4.78 (S.D. = 0.50) อยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด สอดคล้องกับ จินตวิทย์ คล้ายสังข์ และประกอบ กรณียกิจ (2559) ในเรื่องของการเลือกใช้สีและการเลือกใช้ภาพในการประกอบเนื้อหาจะช่วยเพิ่มความน่าสนใจได้มากขึ้น และช่วยให้การสื่อสารชัดเจนยิ่งขึ้น ผู้ออกแบบควรคำนึงถึงเรื่องของการเลือกสี ตัวอักษร ภาพประกอบและการจัดแบ่งพื้นที่เพื่อให้เกิดความสวยงาม สามารถดึงดูดความสนใจได้ สามารถเข้าถึงและใช้งานได้ง่าย ส่วนในข้ออื่น ๆ มีความคิดเห็นอยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุดเช่นกัน โดยข้อที่ได้คะแนนน้อยที่สุด คือ ความคิดเห็นที่มีต่อการออกแบบ ขนาดตัวอักษร และรูปแบบตัวอักษร มีค่าเฉลี่ย คือ 4.58 (S.D. = 0.76)

ในด้านเนื้อหา พบว่า ข้อมูลบนเว็บไซต์มีประโยชน์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประกอบการได้จริง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด คือ 4.82 (S.D. = 0.44) รองลงมา ได้แก่ การจัดหมวดหมู่เนื้อหาบนเว็บไซต์มีความเหมาะสม มีค่าเฉลี่ย คือ 4.78 (S.D. = 0.65) และ ข้อมูลเกี่ยวกับมาตรฐานสำหรับผู้ประกอบการที่แสดงบนเว็บไซต์มีความถูกต้องเหมาะสม มีค่าเฉลี่ย คือ 4.73 (S.D. = 0.58) รองลงมาทุกรายการมีค่าเฉลี่ยความคิดเห็นอยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด สอดคล้องกับ ณัฐฐา ธิรโสภี และชัยวัฒน์ อุตตมากร (2562) ที่ระบุว่า หากผู้ใช้รับรู้ว่าจะระบบมีประโยชน์ เกิดความพึงพอใจในการใช้งาน และรู้สึกว่าการใช้งานระบบเป็นเรื่องง่าย ก็จะส่งผลต่อทัศนคติที่ดีของผู้ใช้งาน

Table 2 The sample's opinion toward the designs and contents of the website classified by participant types.

Opinions	Level of Agreement								
	Academic			Entrepreneurs			General public		
	$\bar{X}$	S.D.	Meaning	$\bar{X}$	S.D.	Meaning	$\bar{X}$	S.D.	Meaning
Designs									
1. The website is easy to access.	4.50	0.53	S.A.	4.74	0.56	S.A.	4.81	0.40	S.A.
2. The design of this website grabs your attention.	4.50	0.71	S.A.	4.60	0.67	S.A.	4.78	0.42	S.A.
3. The website features meet your expectations.	4.60	0.52	S.A.	4.63	0.68	S.A.	4.85	0.36	S.A.
4. The use of colors represents the project's identity.	4.80	0.42	S.A.	4.74	0.65	S.A.	4.93	0.27	S.A.
5. The typography on this website is suitable for reading.	4.00	0.82	A.	4.63	0.68	S.A.	4.56	0.75	S.A.
6. The use of images matches the website contents.	4.20	0.63	A.	4.63	0.68	S.A.	4.74	0.86	S.A.
Contents									
1. The information on the website is accurate.	4.60	0.70	S.A.	4.74	0.56	S.A.	4.74	0.59	S.A.

Opinions	Level of Agreement								
	Academic			Entrepreneurs			General public		
	$\bar{X}$	S.D.	Meaning	$\bar{X}$	S.D.	Meaning	$\bar{X}$	S.D.	Meaning
2. The information about the seafood manifesto led to the action.	4.50	0.71	S.A.	4.74	0.56	S.A.	4.70	0.61	S.A.
3. The information on the website is reliable.	4.50	0.53	S.A.	4.53	0.70	S.A.	4.78	0.64	S.A.
4. The contents categories were well organized.	4.60	0.52	S.A.	4.58	0.61	S.A.	4.93	0.27	S.A.
5. The website provides sufficient information.	4.40	0.70	A.	4.58	0.77	S.A.	4.59	0.80	S.A.
6. The information on the website gives benefits to your business.	4.60	0.52	S.A.	4.68	0.58	S.A.	4.93	0.27	S.A.
Total Mean	4.41	0.61	A.	4.66	0.64	S.A.	4.78	0.52	S.A.

Remark; A. = Agree, S.A. = Strongly Agree (n = 56).

จาก Table 2 ผลการตอบแบบประเมินความคิดเห็นเมื่อพิจารณาเป็นกลุ่มสถานะ พบว่า กลุ่มบุคคลทั่วไป มีค่าเฉลี่ยรวมของระดับความคิดเห็นสูงสุด อยู่ที่ 4.78 (S.D. = 0.52) อยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด รองลงมาคือ กลุ่มผู้ประกอบการมีค่าเฉลี่ยรวม 4.66 (S.D. = 0.64) อยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด และอันดับสุดท้ายได้แก่ กลุ่มนักวิชาการ มีค่าเฉลี่ยรวม คือ 4.41 (S.D. = 0.61) อยู่ในระดับเห็นด้วยมาก จะเห็นได้ว่า กลุ่มบุคคลทั่วไปมีคะแนนความคิดเห็นอยู่ในระดับสูงสุด รองลงมาคือ กลุ่มผู้ประกอบการ และน้อยที่สุดคือ กลุ่มนักวิชาการ แสดงให้เห็นถึงปริมาณความต้องการข้อมูลในเชิงลึกที่ไม่เท่ากัน ของกลุ่มผู้ใช้งานเว็บไซต์ที่มีคุณลักษณะแตกต่างกัน โดยกลุ่มตัวอย่างที่เป็นบุคคลทั่วไปมีความต้องการข้อมูลเชิงลึกน้อยกว่ากลุ่มผู้ประกอบการและนักวิชาการ ซึ่งมีผลการวิจัยที่แตกต่างจาก ฎาพร โฉมทิ และณัฏฐ์ กุลิสร (2557) ที่กล่าวว่า บุคคลที่มีลักษณะข้อมูลส่วนบุคคล เช่น อายุ เพศ สถานะภาพ ที่แตกต่างกันมีพฤติกรรมในการใช้งานเว็บไซต์ประชาสัมพันธ์ไม่แตกต่างกัน

นอกจากนี้การเลือกใช้อักษรในรูปแบบ Prompt ซึ่งเป็นแบบอักษรไทยยุคใหม่ ที่ไม่มีหัวพยัญชนะในการออกแบบครั้งนี้ ได้รับผลการประเมินด้านการใช้อักษร อยู่ในระดับเห็นด้วยมาก ค่าเฉลี่ย 4.00 (S.D. = 0.82) ซึ่งเป็นการประเมินที่มีค่าเฉลี่ยความคิดเห็นน้อยที่สุด อาจพิจารณาเลือกใช้อักษรในรูปแบบอื่นสำหรับการศึกษารุ่นต่อไป

สรุปผลการศึกษา

การวิจัยในครั้งนี้ มุ่งศึกษาแนวทางการพัฒนาเว็บไซต์โครงการประกาศกฎบัตรเพื่อสร้างความยั่งยืนของอาหารทะเลในประเทศไทย โดยผลการศึกษาพบว่า มาตรฐานการประกอบธุรกิจอาหารทะเลแบบยั่งยืนทั้ง 12 ข้อ สามารถจำแนกออกได้เป็นแนวปฏิบัติของ 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 การดูแลห่วงโซ่ต้นน้ำ (การซื้อ) กลุ่มที่ 2 การดูแลห่วงโซ่กลางน้ำ (การทำ) และกลุ่มที่ 3 การดูแลห่วงโซ่ปลายน้ำ (การขาย) โดยมีแผนการดำเนินงานจากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการประกาศกฎบัตรแบ่งได้เป็น 4 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 การยกร่างมาตรฐานและเกณฑ์การพิจารณาคุณภาพ ระยะที่ 2 การบรรจุเกณฑ์มาตรฐานเข้าแผนการอบรม ระยะที่ 3 การสร้างแผนประชาสัมพันธ์ และระยะที่ 4 การเตรียมความพร้อมให้หน่วยงานรับรองมาตรฐาน (certification body) ซึ่งนำมาสู่การออกแบบเว็บไซต์ของโครงการที่ประกอบไปด้วย 1) โมดูลให้ความรู้ 2) โมดูลหลักสูตรฝึกอบรม 3) โมดูลข่าวสารและเอกสารประกอบ และ 4) โมดูลการขอออกตราสัญลักษณ์ จากผลการศึกษาความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 56 คน พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศหญิง ร้อยละ 42.85 น้อยกว่าเพศชายที่มีสัดส่วน ร้อยละ 57.15 เป็นบุคคลทั่วไปจำนวนมากที่สุด ร้อยละ 48.22 รองลงมา คือ ผู้ประกอบการร้อยละ 33.92 และนักวิชาการมีจำนวนน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 17.89

ค่าเฉลี่ยรวมของระดับความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างอยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด 4.67 (S.D. = 0.61) เมื่อพิจารณารายข้อในด้านการออกแบบสื่อ พบว่า ความคิดเห็นที่มีต่อการเข้าถึงเว็บไซต์ มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 4.84 (S.D. = 0.62) อยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด รองลงมาคือความคิดเห็นที่มีต่อการใช้สีในการออกแบบเว็บไซต์มีค่าเฉลี่ย 4.78 (S.D. = 0.50)

ส่วนความคิดเห็นที่มีต่อการออกแบบ ขนาดตัวอักษร และรูปแบบตัวอักษร มีค่าเฉลี่ย คือ 4.58 (S.D. = 0.76) เป็นรายการที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อในด้านเนื้อหา พบว่า ข้อมูลบนเว็บไซต์มีประโยชน์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประกอบการได้จริง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด คือ 4.82 (S.D. = 0.44) รองลงมา ได้แก่ การจัดหมวดหมู่เนื้อหาบนเว็บไซต์มีความเหมาะสม มีค่าเฉลี่ย คือ 4.78 (S.D. = 0.65) และข้อมูลเกี่ยวกับมาตรฐานสำหรับผู้ประกอบการที่แสดงบนเว็บไซต์มีความถูกต้องเหมาะสม มีค่าเฉลี่ย คือ 4.73 (S.D. = 0.58) รองลงมาทุกรายการมีค่าเฉลี่ยความคิดเห็นอยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด

จากการวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการศึกษาในการพัฒนาเว็บไซต์ของโครงการ สามารถนำมาสรุปเป็นข้อเสนอแนะในการนำเอาผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ได้ 5 ประการ ดังนี้

- 1) เว็บไซต์ควรมีระบบส่งข้อความแบบโต้ตอบทันทีเนื่องจากจะทำให้ระดับการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้งานมีความสะดวกมากยิ่งขึ้นกว่าช่องทางการติดต่ออื่น ๆ
- 2) ผู้ออกแบบควรคำนึงถึงเรื่องการเลือกสี ตัวอักษร ภาพประกอบและการจัดแบ่งพื้นที่เพื่อให้เกิดความสวยงาม สามารถดึงดูดความสนใจได้ สามารถเข้าถึงและใช้งานได้ง่าย
- 3) การให้ข้อมูลเนื้อหาบนเว็บไซต์ในปริมาณที่เหมาะสมและการจัดหมวดหมู่ข้อมูลที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานแต่ละกลุ่มจะทำให้เกิดความพึงพอใจและทัศนคติที่ดีต่อโครงการ
- 4) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แบบตัวอักษรไทยที่ไม่มีหัว ซึ่งเป็นรายการที่มีคะแนนเฉลี่ยเห็นด้วยน้อยที่สุดจากกลุ่มตัวอย่าง ในการออกแบบอาจพิจารณาเลือกใช้รูปแบบอักษรที่มีหัวในการแสดงผลเนื้อหาบนเว็บไซต์
- 5) ผู้ใช้งานในกลุ่มบุคคลทั่วไปที่มีความต้องการข้อมูลแตกต่างจากกลุ่มนักวิชาการ หรือผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการกำหนดปริมาณเนื้อหาที่เข้าถึงได้อาจจัดกลุ่มผู้ใช้งานออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ ผู้ใช้งานทั่วไป และผู้ใช้งานที่มีความสนใจพิเศษ

เอกสารอ้างอิง

จินตวิทย์ คล้ายสังข์ และประกอบ กรณียกิจ. 2559 การออกแบบเว็บเพื่อการเรียนการสอน แนวการประยุกต์ใช้สำหรับการเรียนการสอน

สอนแบบผสมผสานอีเลิร์นนิ่งและออนไลน์อีเลิร์นนิ่ง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัฐธรา ถิรโสภี และชัยวัฒน์ อุตตมากร. 2562. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจเชิงพฤติกรรมในการใช้เทคโนโลยีเว็บพอร์ทัลของการเรียนการสอนในระบบเปิด Thai MOOC. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร 39(5): 96-116.

ภาพร โคมที่ และณัฏฐ์ กุลิสร. 2557. ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมและความพึงพอใจในการใช้บริการเว็บบล็อกโฆษณาของผู้ใช้ระบบเครือข่าย

สังคมบนอินเทอร์เน็ต. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น 9(3): 78-86.

รัฐธีร์ ปภัสสรุยโชติ และอรนุช เสวตรตันเสถียร. 2556. การใช้เทคโนโลยีเว็บ 2.0 ของห้องสมุดมหาวิทยาลัยของรัฐ. *Journal of Information Science* 29(3): 14-30.

Thai chefs for good. 2020. Thai chefs for good manifesto (Seafood Chapter). <http://www.thaichefsforgood.com/> (10 January 2020).

วันรับบทความ (Received date) : 15 มิ.ย. 65

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 11 ก.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 28 ก.ค. 65

การสร้างตราสินค้าและการรับรู้ตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL

Branding and Brand Awareness of Farm Chao Khun By KMITL

จิรนนท์ เข็มขันธุ์¹ รัญคุณานิษฐ์ กันหลง¹ ประพัฒน์ อธิปัญญพงษ์¹ และรัตตมา รัตนวงศา¹

Jeeranun Khernkhan¹, Runkunenihiht Kunglung¹, Prapat Athipanjapong¹ and Rattama Rattanawongsa¹

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษากระบวนการสร้างตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL 2) เพื่อศึกษาการรับรู้ตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL ของผู้บริโภค วิธีการเก็บข้อมูลใช้การสัมภาษณ์เชิงลึกจากคณะกรรมการบริหารและเจ้าหน้าที่ฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL 10 คน และลูกค้าประจำ 25 คน ในการศึกษากระบวนการสร้างตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL และใช้แบบสอบถามออนไลน์ โดยเก็บข้อมูลจากลูกค้าฟาร์มเจ้าคุณ จำนวน 300 คน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สถิติ t-test, F-test และวิเคราะห์เชิงเนื้อหา ในการศึกษาการรับรู้ตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL ผลการศึกษาพบว่า กระบวนการสร้างตราสินค้ามีทั้งสิ้น 6 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นตอนกลุ่มเป้าหมายเป็นบุคคลภายใน และภายนอกสถาบันฯ ที่สนใจสินค้าเกษตรสุขภาพ 2) ขั้นตอนออกแบบตราสินค้า คือ เป็นตราสินค้าที่น่าเสนอสินค้าที่มีคุณภาพ ปลอดภัย มีงานวิจัยรับรอง และการมีส่วนร่วมสนับสนุนนักศึกษา 3) ขั้นตอนเอกลักษณ์ของตราสินค้า เป็นตราสินค้าที่สะท้อนถึงความน่าเชื่อถือและการการันตีด้วยคุณภาพ 4) ขั้นตอนการนำเสนอสื่อต่าง ๆ ของตราสินค้าทั้งหมดสู่ผู้บริโภค โดยนำเสนอผ่านกลยุทธ์และกิจกรรมทางการตลาดต่าง ๆ 5) ขั้นตอนระดับตราสินค้า ซึ่งยังไม่ปรากฏว่ามีการยกระดับตราสินค้าเนื่องจากเป็นช่วงเริ่มก่อตั้ง 6) ขั้นตอนการบริหารคุณค่าตราสินค้า คุณค่าที่ผู้บริโภคได้รับ คือ เป็นผู้สนับสนุนการศึกษาได้บริโภคสินค้าปลอดภัย มีคุณภาพ ในส่วนการรับรู้ตราสินค้าอยู่ในระดับมากทั้งหมด เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า มีการรับรู้ตราสินค้าด้านวัฒนธรรมองค์กรมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ด้านคุณประโยชน์สินค้า ด้านบุคลิกภาพ ด้านคุณค่า ด้านคุณสมบัติ และด้านผู้ใช้/ผู้ซื้อ และพบว่าข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้เฉลี่ยต่อเดือนที่ต่างกัน มีการรับรู้ตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL แตกต่างกัน

คำสำคัญ: ตราสินค้า การสร้างตราสินค้า การรับรู้ตราสินค้า ฟาร์มเจ้าคุณ

Abstract

The objectives of this research were 1) to study the branding process of Farm Chao Khun By KMITL; and 2) to study brand awareness of Farm Chao Khun By KMITL. In order to study the branding process, in-depth interviews were conducted with ten KMITL Board of Directors members and staff, and with twenty-five regular customers. Meanwhile, to study brand awareness, questionnaires were given to and collected from two hundred and eighty-two customers. In this case, the data was analyzed using descriptive statistics such as frequency, percentage and standard deviation and including T-Test and F-Test statistics with content analysis. According to the results, there were six steps to the branding process: 1) Identification of the target group consisting in individuals from inside and outside of the institute who were interested in healthy agricultural products, 2) Design of a brand that brings with it the features of quality and safety, has research accreditation, and embodies student participation, 3) Creation of

¹ภาควิชานวัตกรรมสื่อสารและการพัฒนาการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹Department of Communication Innovation and Agricultural Development, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520

*Corresponding author: Email: runkunenihiht.ku@kmitl.ac.th

brand awareness of credibility and guaranteed quality, 4) Presentation of information relating to the product brand to the customers via strategies and marketing activities, 5) Promotion of the product during the product establishment period, and 6) Managing brand loyalty by stressing that consumers are not only getting good quality and safe products; they are also supporting the education process of students when they buy the product. The results of the research were that overall brand awareness was at a high level. When considering each aspect separately, it was found that the brand awareness of organizational culture was the highest, and it was followed by product advantage, product personality, value and properties. With respect to product awareness and buyer and user characteristics, it was found that brand awareness of Farm Chao Khun By KMITL varied with consumer gender, age, education level, occupation and average income per month.

Keywords: brand, branding, brand awareness, Farm Chao Khun

คำนำ

ตราสินค้า หรือ แบรินด์ (brand) คือ ภาพลักษณ์ของสินค้าหรือองค์กรในความคิดคำนึงของกลุ่มเป้าหมายที่ทำให้สินค้าและองค์กรนั้น ๆ มีความแตกต่างจากคู่แข่งอย่างโดดเด่นเป็นเอกลักษณ์ (Aaker, 1991; Keller, 2008) ทำให้ลูกค้าเกิดความมั่นใจในคุณภาพของสินค้า มีความพึงพอใจในการใช้สินค้าและเกิดความภักดีได้ในที่สุด (Randall, 1997) ปัจจุบันตราสินค้าหรือ แบรินด์ ถูกใช้ประโยชน์ในการทำตลาดสมัยใหม่ (Marin et al., 2009) เนื่องจากการแข่งขันทางการตลาดในสินค้าที่คล้ายกันมีความรุนแรงและซับซ้อนมากขึ้น (Hanf and Kühn, 2005) ทำให้กระบวนการผลิตที่มุ่งขายที่ตัวสินค้าอย่างเดียวไม่สามารถทำได้อีกต่อไป การแข่งขันทางการตลาดในปัจจุบันจึงไม่ใช่เพียงการแข่งขันในเรื่องการผลิตสินค้าเท่านั้น แต่ยังแข่งขันกันในการสร้างตราสินค้าให้อยู่ในใจผู้บริโภค และที่สำคัญการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคไม่ได้ขึ้นอยู่กับแค่ตัวสินค้าและบริการเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับตราสินค้าหรือแบรินด์ด้วย (เกตุสิน บัวดีศ และกัลยา พิมพ์เพระ, 2564) ซึ่งนอกเหนือจากการสร้างแบรินด์แล้ว การรับรู้คุณค่าตราสินค้าก็ถือเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างความสำเร็จให้กับธุรกิจ เพราะการรับรู้เชิงบวกในคุณค่าของตราสินค้าเป็นอิทธิพลที่ส่งผลต่อความตั้งใจในการซื้อของผู้บริโภค (Oyedele et al., 2018) และเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสำเร็จและความเติบโตของธุรกิจอย่างมั่นคงและยั่งยืน (อัมพล ชูสนุก และคณะ, 2560)

ตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL เป็นตราผลิตภัณฑ์สินค้าทางการเกษตร ของคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ก่อตั้งขึ้นเพื่อขายสินค้าทางการเกษตรและผลิตภัณฑ์แปรรูปที่เกิดจากองค์ความรู้ งานวิจัย และการเรียนการสอนของคณะ ผลิตโดยอาจารย์ นักวิจัย และนักศึกษา ตัวผลิตภัณฑ์และตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL ได้รับการตอบรับจากผู้บริโภคเป็นอย่างดีจนเกิดเป็นกลุ่มลูกค้าประจำที่เติบโตขึ้นเรื่อย ๆ จึงถือได้ว่าเป็นตราสินค้าต้นแบบของสินค้าทางการเกษตรที่ผลิตโดยสถาบันการศึกษา จึงควรศึกษาถึงกระบวนการสร้างตราสินค้า และการรับรู้ตราสินค้าของลูกค้าสินค้าเกษตรฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับหน่วยงานหรือสถาบันการศึกษาอื่น ๆ ที่ต้องการสร้างแบรินด์หรือตราสินค้าของตนเองให้ประสบความสำเร็จต่อไป

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการศึกษากระบวนการสร้างตราสินค้า และการรับรู้ตราสินค้าของผู้บริโภคที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าของฟาร์มเจ้าคุณ ข้อมูลและผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปเพิ่มขีดความสามารถในการทำตลาดระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนเป็นแนวทางในการสร้างตราสินค้าเกษตรของหน่วยงานหรือสถาบันการศึกษาอื่น ๆ ได้อย่างยั่งยืนต่อไป

วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบผสมวิธี (mixed method research) ประกอบด้วยวิธีการวิจัยเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ กระบวนการสร้างตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยใช้เทคนิคการสัมภาษณ์เชิงลึก (in-depth interview) ใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (semi-structured interview) ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ให้ข้อมูลหลัก (key informant) คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) จากกลุ่มผู้ก่อตั้งรวมถึงกำหนดแนวทางในการสร้างตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL ซึ่งได้แก่ คณะกรรมการบริหารและเจ้าหน้าที่ฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL จำนวน 10 คน และผู้บริโภคสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL ที่เป็นลูกค้าประจำ จำนวน 25 คน

ส่วนการรับรู้ตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL ของผู้บริโภค เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ โดยใช้แบบสอบถามออนไลน์ (online questionnaire) เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้เฉลี่ยต่อเดือน ส่วนที่ 2 การรับรู้ตราสินค้าในด้านต่าง ๆ จำนวน 6 ด้าน ได้แก่ ด้านคุณสมบัติ (attribute) ด้านคุณประโยชน์ (benefit) ด้านคุณค่า (values) ด้านวัฒนธรรมองค์กร (cultures) ด้านบุคลิกภาพ (personality) และด้านผู้ใช้ (user) (ศิริวรรณ เสรีรัตน์ และคณะ, 2552) โดยกำหนดการรับรู้ตราสินค้าด้านต่าง ๆ เป็น 5 ระดับ เรียงจากมากไปหาน้อย โดยวิธี Likert Scale

เก็บข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (accidental sampling) จากกลุ่มตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้กำหนดเงื่อนไขไว้ว่า ต้องเป็นลูกค้าที่เคยซื้อสินค้าฟาร์มเจ้าคุณมากกว่า 1 ครั้ง ได้กลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 300 ราย จากประชากรทั้งหมด 450 ราย โดยมีการทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (content validity) โดยผู้เชี่ยวชาญได้ให้ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC: index of item objective congruence) อยู่ระหว่าง 0.67-1.00 แล้วนำไปทดลองใช้ (tryout) กับผู้ที่ไม่ใช่เป้าหมายในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ จำนวน 30 คน และหาค่าความเชื่อมั่น (reliability) โดยวิธีของ Cronbach (Cronbach's alpha coefficient) ได้ค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.931

การวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหา และวิเคราะห์เชิงพรรณนาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปโดยใช้ค่าสถิติอธิบายผลการวิจัย ได้แก่ ค่าความถี่ (frequency) ค่าร้อยละ (percentage) ค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) t-test และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-Way ANOVA) หรือ F-test

ผลการศึกษาและวิจารณ์

กระบวนการสร้างตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL

การศึกษากิจกรรมการสร้างตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL มีทั้งหมด 6 ขั้นตอน ได้แก่ การระบุกลุ่มเป้าหมาย (target consumer identification) การออกแบบตราสินค้า (brand design) การสร้างเอกลักษณ์ของตราสินค้า (brand identity creation) การปฏิบัติการสร้างตราสินค้า (brand building implementation) การยกระดับตราสินค้า (leveraging the brand) การบริหารคุณค่าของตราสินค้า (brand equity management) โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

1) การระบุกลุ่มเป้าหมาย กลุ่มเป้าหมายของตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL คือ บุคลากรภายใน และบุคคลภายนอกสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นที่ใกล้เคียงสถาบัน ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

2) การออกแบบตราสินค้า สิ่งที่ตราสินค้าต้องการสื่อถึงผู้บริโภค คือ เป็นสินค้าที่มีคุณภาพ ปลอดภัย เชื่อถือได้ เนื่องจากผลิตจากองค์ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญทางด้านการเกษตร มีองค์ความรู้และงานวิจัยจากอาจารย์และนักวิจัย และมีส่วนร่วมในการส่งเสริมและสนับสนุนการเรียนของนักศึกษา

3) การสร้างเอกลักษณ์ตราสินค้า ด้วยการตั้งชื่อตราสินค้า “ฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL” ซึ่งสะท้อนถึงลักษณะพื้นที่บรรยากาศความเป็นเกษตร สะท้อนรากเหง้าของคณะเทคโนโลยีการเกษตร และเป็นการน้อมรำลึกถึงท่านเจ้าพระยาสุรวงษ์ไวยวัฒน์ (วร บุนนาค) บ่งบอกถึงตัวตนของตราสินค้า และสะท้อนถึงความน่าเชื่อถือและการการันตีคุณภาพ อีกทั้งการสร้างตราสินค้าและบรรจุภัณฑ์สินค้า ที่เน้นออกแบบให้เป็นเกษตรทันสมัย ใช้วัสดุรีไซเคิลที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึง logo ตราสินค้า มีการออกแบบให้เห็นถึงองค์ประกอบความเป็นเกษตรเจ้าคุณ tagline แสดงถึงคำมั่นสัญญากับผู้บริโภคว่าผลิตเฉพาะสินค้าที่ดี มีคุณภาพ เกิดจากองค์ความรู้วิสัยทัศน์ของตราสินค้า มุ่งสู่การเป็นสินค้าระดับพรีเมียม และสินค้าเพื่อสังคม มุ่งตอบสนองคนในสังคมให้ได้รับสุขภาพที่ดี ปรบการเรียนสู่ธุรกิจ นำความรู้จากการเรียนการสอนต่อยอดเป็นผลผลิตออกจำหน่าย และ unique selling point แสดงถึงสินค้าคุณภาพ สินค้าปลอดภัย เป็นแหล่งเรียนรู้ทางการเกษตรอย่างครบวงจร และรายได้ที่ได้นำไปต่อยอดการเรียนรู้ของนักศึกษา และคืนกำไรสู่สังคม

4) การปฏิบัติการสร้างตราสินค้า การนำเสนอข้อมูลต่าง ๆ ของตราสินค้าทั้งหมดสู่ผู้บริโภค โดยนำเสนอผ่านกลยุทธ์และกิจกรรมทางการตลาดต่าง ๆ เครื่องมือทางการตลาดที่ใช้ คือ การโฆษณาผ่าน Facebook Fanpage การประชาสัมพันธ์ การจัดแสดงสินค้า ตัวบรรจุภัณฑ์ การใช้ผลิตภัณฑ์เป็นสื่อ หน่วยงานขายและพนักงานขาย

5) การยกระดับตราสินค้า (leveraging the brand) ฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL เป็นตราสินค้าที่เพิ่งเริ่มก่อตั้ง จึงอยู่ในช่วงการสร้างฐานลูกค้าให้เป็นที่รู้จักและเป็นที่ยอมรับ จึงยังไม่ดำเนินการไปถึงขั้นการยกระดับตราสินค้า

6) การบริหารคุณค่าของตราสินค้า ความรู้สึกที่ผู้บริโภคจะได้รับจากตราสินค้านอกเหนือจากสินค้าที่มีคุณภาพ ผู้บริโภคจะได้รับความรู้สึกเชื่อมั่นและวางใจต่อสินค้าที่ปราศจากสารพิษ เป็นสินค้าปลอดภัย ผ่านการวิจัยจากผู้เชี่ยวชาญ และรู้สึกถึงการเป็นผู้ให้ในการสนับสนุนนักศึกษา และได้สุขภาพที่ดี

จากการวิจัยพบว่า ฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL เป็นตราสินค้าใหม่ที่กำลังสร้างขึ้นมาได้ไม่นานนัก จึงทำให้กระบวนการสร้างตราสินค้าทำอย่างค่อยเป็นค่อยไป เน้นการสร้างจุดยืนที่ชัดเจน คือ ผลิตเฉพาะสินค้าที่มีคุณภาพ ปลอดภัย เชื่อถือได้ เนื่องจากผลิตจากผู้เชี่ยวชาญด้านการเกษตร มีองค์ความรู้และงานวิจัยจากอาจารย์และนักวิจัยรองรับ และมีส่วนร่วมในการส่งเสริมและสนับสนุนนักศึกษา (Figure 1)



Figure 1 Farm Chao Khun Brand By KMITL.

ศึกษาการรับรู้ตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL ของผู้บริโภค

การศึกษการรับรู้ตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL ของผู้บริโภค โดยเก็บข้อมูลผ่านแบบสอบถามออนไลน์จากผู้บริโภคสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL จำนวน 300 ราย พบว่า ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย (ร้อยละ 53) มีอายุระหว่าง 20-30 ปี (ร้อยละ 85) ระดับการศึกษาปริญญาตรี (ร้อยละ 90) มีอาชีพนักศึกษา (ร้อยละ 80) และมีรายได้ไม่เกิน 20,000 บาทต่อเดือน (ร้อยละ 85)

ผลการศึกษารับรู้ตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL ของผู้บริโภค ทั้ง 6 ด้าน พบว่าในภาพรวมมีการรับรู้ตราสินค้าอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.89$) โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ ด้านวัฒนธรรมองค์กร ($\bar{X} = 4.12$) ด้านคุณประโยชน์สินค้า ($\bar{X} = 4.05$) ด้านบุคลิกภาพ ($\bar{X} = 3.99$) ด้านคุณค่า ($\bar{X} = 3.92$) และ ด้านคุณสมบัติ ($\bar{X} = 3.91$) ส่วนในด้านผู้ใช้/ผู้ซื้อ อยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X} = 3.35$) ตามลำดับ (Table 1)

Table 1 Mean, standard deviation brand awareness in various aspects of consumers of Farm Chao Khun By KMITL products, an overview of all aspects.

Ranking	Items	Statistical value		Meaning
		$\bar{X}$	S.D.	
1	Corporate culture	4.12	0.54	Aware
2	Product benefits	4.05	0.55	Aware
3	Personality	3.99	0.54	Aware
4	Value	3.92	0.55	Aware
5	Properties	3.91	0.62	Aware
6	User or Buyer side	3.35	0.68	Moderately Aware
Total Average		3.89	0.58	Aware

Note: 4.21-5.00 = strongly aware; 3.41-4.20 = aware; 2.61-3.40 = moderately aware; 1.81-2.60 = slightly aware; 1.00-1.80 = not aware.

ด้านคุณสมบัติ (attribute) ของตราสินค้า โดยรวมอยู่ในระดับมากทั้งหมด ($\bar{X} = 3.74$) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีการรับรู้ตราสินค้าอยู่ในระดับมาก โดยเรียงลำดับ 3 อันดับที่สำคัญ ได้แก่ เป็นสินค้าที่มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด ($\bar{X} = 3.89$) เป็นสินค้าที่ผลิตโดยผู้เชี่ยวชาญ ($\bar{X} = 3.85$) และเป็นสินค้าที่มีงานวิจัยรับรอง ($\bar{X} = 3.83$) (Table 2)

Table 2 Mean, standard deviation brand awareness properties.

Ranking	Properties	Statistical value		Meaning
		$\bar{X}$	S.D.	
1	It is a reliable product.	3.89	0.56	Aware
2	It is a product produced by experts.	3.85	0.65	Aware
3	It is a product with research certification.	3.83	0.65	Aware
4	It is a product produced with modern tools.	3.81	0.61	Aware
5	The product is outstanding. unique	3.35	0.70	Moderately Aware
Total average		3.74	0.63	Aware

Note: 4.21-5.00 = strongly aware; 3.41-4.20 = aware; 2.61-3.40 = moderately aware; 1.81-2.60 = slightly aware; 1.00-1.80 = not aware.

ด้านคุณประโยชน์สินค้า (benefit) โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (X̄ = 4.07) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีการรับรู้ตราสินค้าอยู่ในระดับมากที่สุดโดยเรียงลำดับ 3 อันดับที่สำคัญ ได้แก่ ช่วยอุดหนุนนักศึกษามากที่สุด (X̄ = 4.13) สินค้าคุณภาพดี ปลอดภัย (X̄ = 4.09) และสินค้ามีความสดใหม่เสมอ (X̄ = 4.04) (Table 3)

Table 3 Mean, standard deviation brand awareness product benefits.

Ranking	Product Benefits	Statistical Value		Meaning
		X̄	S.D.	
1	To help support students	4.13	0.64	Aware
2	Good quality products, safe.	4.09	0.55	Aware
3	Products are always fresh	4.04	0.53	Aware
4	Help to generate income in return to society	4.01	0.64	Aware
Total average		4.07	0.59	Aware

Note: 4.21-5.00 = strongly aware; 3.41-4.20 = aware; 2.61-3.40 = moderately aware; 1.81-2.60 = slightly aware; 1.00-1.80 = not aware.

ด้านคุณค่า (value) โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (X̄ = 3.93) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีการรับรู้ตราสินค้าอยู่ในระดับมากที่สุดโดยเรียงลำดับ 3 อันดับที่สำคัญ ได้แก่ เป็นสินค้าที่ผลิตขึ้นจากผู้นำองค์ความรู้ด้านการเกษตรมากที่สุด (X̄ = 3.98) รู้สึกปลอดภัยเมื่อบริโภคสินค้า (X̄ = 3.97) และให้ความรู้สึกว่ามีคุณภาพที่คุ้มค่ากับราคาที่จ่ายไป (X̄ = 3.83) (Table 4)

Table 4 Mean, standard deviation brand awareness, value.

Ranking	Value	Statistical value		Awareness
		X̄	S.D.	
1	It is a product produced by a leader in agricultural knowledge.	3.98	0.54	Aware
2	Feel safe when consuming the product.	3.97	0.54	Aware
3	Feel that quality is worth that the price is paid.	3.83	0.63	Aware
Total average		3.93	0.57	Aware

Note: 4.21-5.00 = strongly aware; 3.41-4.20 = aware; 2.61-3.40 = moderately aware; 1.81-2.60 = slightly aware; 1.00-1.80 = not aware.

ด้านวัฒนธรรมองค์กร (corporate culture) โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (X̄ = 4.18) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีการรับรู้ตราสินค้าอยู่ในระดับมากที่สุดโดยเรียงลำดับ 3 อันดับที่สำคัญ ได้แก่ การรับรู้ว่ามีบุคลากรมีความเชี่ยวชาญ น่าเชื่อถือมากที่สุด (X̄ = 4.21) บุคลากรมีความรู้ ความสามารถ (X̄ = 4.16) และมีความเชี่ยวชาญด้านผลิตภัณฑ์อาหาร (X̄ = 4.07) (Table 5)

Table 5 Mean, standard deviation brand awareness corporate culture.

Ranking	Corporate culture	Statistical value		Meaning
		$\bar{X}$	S.D.	
1	Personnel with expertise and credibility	4.21	0.60	Strongly Aware
2	Personnel have knowledge and ability	4.16	0.57	Aware
3	Have expertise in food products	4.07	0.57	Aware
4	To be a leader in the production of new agricultural products	3.96	0.56	Aware
Total average		4.09	0.58	Aware

Note: 4.21-5.00 = strongly aware; 3.41-4.20 = aware; 2.61-3.40 = moderately aware; 1.81-2.60 = slightly aware; 1.00-1.80 = not aware.

ด้านบุคลิกภาพ (personality) โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 3.97$) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีการรับรู้ตราสินค้าอยู่ในระดับมากโดยเรียงลำดับ 3 อันดับที่สำคัญ ได้แก่ เป็นผู้รู้จริงด้านการผลิตอาหารและการเกษตรมากที่สุด ($\bar{X} = 3.99$) ตราสินค้าแสดงถึงความมุ่งมั่นในการพัฒนาสินค้าเกษตร ($\bar{X} = 3.97$) และตราสินค้าแสดงถึงความน่าไว้วางใจและน่าเชื่อถือ ($\bar{X} = 3.96$) (Table 6)

Table 6 Mean, standard deviation brand awareness personality.

Ranking	Personality	Statistical value		Meaning
		$\bar{X}$	S.D.	
1	He is a true knowledgeable in food production and agriculture.	3.99	0.54	Aware
2	The brand represents a commitment to agricultural product development.	3.97	0.55	Aware
3	The brand represents trustworthiness. and reliable	3.96	0.55	Aware
Total average		3.97	0.55	Aware

Note: 4.21-5.00 = strongly aware; 3.41-4.20 = aware; 2.61-3.40 = moderately aware; 1.81-2.60 = slightly aware; 1.00-1.80 = not aware.

ผู้ใช้/ผู้ซื้อ (user/buyer side) โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 3.76$) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีการรับรู้ตราสินค้าอยู่ในระดับมากโดยเรียงลำดับ 3 อันดับที่สำคัญ ได้แก่ ลูกค้าเป็นคนทันสมัยมากที่สุด ($\bar{X} = 3.83$) ลูกค้าเป็นคนฉลาดเลือก ($\bar{X} = 3.79$) และลูกค้าเป็นคนมีสนิยม ($\bar{X} = 3.76$) (Table 7)

Table 7 Mean, standard deviation brand awareness user/buyer side.

Ranking	User or Buyer Side	Statistical value		Awareness
		$\bar{X}$	S.D.	
1	Customers are modern people.	3.83	0.63	Aware
2	Customers are tasteful people.	3.79	0.62	Aware
3	The Customer is a smart choice.	3.76	0.73	Aware
4	Customers are socially conscious.	3.74	0.75	Aware
5	Customers love and care about their Health.	3.71	0.73	Aware
Total Average		3.76	0.69	Aware

Note: 4.21-5.00 = strongly aware; 3.41-4.20 = aware; 2.61-3.40 = moderately aware; 1.81-2.60 = slightly aware; 1.00-1.80 = not aware.

จากการศึกษาแนวคิดการรับรู้ ที่กล่าวว่า การรับรู้คือกระบวนการที่บุคคลแต่ละคนมีการเลือก ประมวลผลและตีความเกี่ยวกับตัวกระตุ้นออกมาเป็นความหมายและภาพ ผู้วิจัยพบว่า การรับรู้ตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL ของลูกค้าสามารถแบ่งได้เป็น 5 ด้าน ได้แก่

1) ด้านคุณสมบัติ เมื่อเป็นตราสินค้าภายใต้คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จึงมีความน่าเชื่อถือ เชื่อมั่นว่าต้องเป็นสินค้าที่ดี มีประโยชน์ มั่นใจในตราสินค้า ไม่หลอกลวงผู้บริโภค เป็นสินค้าที่ผ่านองค์ความรู้ มีงานวิจัยรองรับ

2) ด้านคุณประโยชน์สินค้า เป็นสินค้าที่มีคุณภาพ ปลอดภัย ใส่ใจสุขภาพของผู้บริโภค รสชาติอร่อย มีความสดใหม่ ปลอดภัย สะอาด คำนึงถึงโภชนาการที่เหมาะสมของผู้บริโภค และเป็นการช่วยเหลือสถาบันการศึกษาและนักศึกษา

3) ด้านคุณค่า เมื่อซื้อสินค้าของฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL แล้วจะได้มีส่วนในการช่วยเหลือ ส่งเสริม อุดหนุนนักศึกษา ได้ตอบแทนสังคม เพราะเงินที่ได้จากการซื้อสินค้าจะย้อนกลับไปช่วยสถาบันการศึกษา ในการพัฒนาการเรียนการสอน

4) ด้านบุคลิกภาพ บุคลิกภาพของตราสินค้าบ่งบอกถึงผู้มีความรู้ น่าเชื่อถือ ชี้ตรง จริงใจ มีความทันสมัย มีนวัตกรรม ไม่โกหกผู้บริโภค มีความเป็นธรรมชาติและใส่ใจรายละเอียด ชอบพัฒนาตนเอง

5) ด้านผู้บริโภคหรือผู้ซื้อ ผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นบุคคลที่มีความเกี่ยวข้องกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นคนที่สนใจสินค้าด้านการเกษตร รักและคำนึงถึงสุขภาพตนเองและคนรอบข้าง คำนึงถึงความปลอดภัย ปลอดภัย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อยากอุดหนุน สนับสนุนผลผลิตของนักศึกษา และเป็นคนฉลาดเลือก

เปรียบเทียบการรับรู้ตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL จำแนกตามปัจจัยส่วนบุคคล

จากการศึกษา พบว่า เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้เฉลี่ยต่อเดือน ที่แตกต่างกัน มีการรับรู้ตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Table 8)

Table 8 Comparison of brand awareness of Farm Chao Khun By KMITL classified by personal characteristic.

Characteristics		$\bar{X}$	S.D.	t/F	P-value	Comparison Test
Gender	1) Male	3.56	0.50	-11.478	0.000**	-
	2) Female	4.44	5.40			
Age	1) Under 20 years old	5.00	0.00	73.125	0.000**	2>1, 2>3, 2>4, 2>5
	2) 20-30 years old	3.80	0.41			
	3) 31-40 years old	5.00	0.00			
	4) 41-50 years old	5.00	0.00			
	5) 51+ years	3.95	0.00			
Education level	1) Below bachelor's degree	5.00	0.00	47.138	0.000**	2>1, 2>3, 2>4
	2) Bachelor's degree	3.85	0.47			
	3) Master's degree	5.00	0.00			
	4) Ph.D.	5.00	0.00			
Occupation	1) Student	3.80	0.42	91.532	0.000**	1>2, 1>3, 1>4
	2) Teacher	5.00	0.00			
	3) Full-time employees	5.00	0.00			
	4) Temporary employees	5.00	0.00			
Average monthly income	1) Not more than 20,000	3.80	0.41	58.289	0.000**	1>2, 1>3, 1>4, 1>5, 1>6
	2) 20,001-30,000	5.00	0.00			
	3) 30,001-40,000	5.00	0.00			
	4) 40,001-50,000	5.00	0.00			
	5) 50,001-60,000	5.00	0.00			
	6) 60,001 and above	5.00	0.00			

** , * = Significant at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.

สรุปผลการศึกษา

กระบวนการสร้างตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน คือ 1) ระบุกลุ่มเป้าหมาย เป็นบุคคลภายใน และภายนอกสถาบันฯ ที่สนใจสินค้าเกษตรสุขภาพ 2) การออกแบบตราสินค้า คือ การนำเสนอสินค้าที่มีคุณภาพปลอดภัย มีงานวิจัยรับรอง และการมีส่วนร่วมสนับสนุนนักศึกษา 3) สร้างเอกลักษณ์ สะท้อนถึงความน่าเชื่อถือและการการันตีคุณภาพของสินค้า 4) การปฏิบัติการนำเสนอข้อมูลต่าง ๆ ของตราสินค้าทั้งหมดสู่ผู้บริโภค โดยนำเสนอผ่านกลยุทธ์และกิจกรรมทางการตลาดต่าง ๆ 5) ยังดำเนินการไม่ถึงขั้นการยกระดับตราสินค้าเนื่องจากเพิ่งเริ่มก่อตั้ง 6) การบริหารคุณค่าตราสินค้า คุณค่าที่ผู้บริโภคได้รับ คือ เป็นผู้สนับสนุนการศึกษา สินค้าปลอดภัย มีคุณภาพ

ในส่วนของการรับรู้ตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL เนื่องจากตราสินค้าของฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL เป็นตราสินค้าที่เกิดขึ้นได้หน่วยงานของคณะเทคโนโลยีการเกษตร การรับรู้ตราสินค้าของผู้บริโภค ส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาและบุคลากรของสถาบันฯ ซึ่งผู้ที่สามารถรับรู้ตราสินค้าคือบุคคลภายในคณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล. และลูกค้าที่เคยซื้อสินค้า โดยรวมจึง

อยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน ด้านที่มากที่สุดคือด้านวัฒนธรรมองค์กร รองลงมาคือ ด้านคุณประโยชน์สินค้า ด้านบุคลิกภาพ ด้านคุณค่า ด้านคุณสมบัติ และด้านผู้ใช้/ผู้ซื้อ ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย ตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL ควรมีการยกระดับตราสินค้าเพิ่มขึ้น พร้อมกับสร้างการรับรู้เพิ่มเติมให้กับบุคคลภายนอก เมื่อนำข้อมูลในส่วนของการสร้างตราสินค้าและการรับรู้ตราสินค้าฟาร์มเจ้าคุณ By KMITL มาเชื่อมโยงกัน จะพบประเด็นที่เป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานอื่น ๆ ในการสร้างตราสินค้าให้เป็นที่ยอมรับ คือ หากเป็นตราสินค้าที่ก่อตั้งมาจากสถาบันการศึกษาหรือหน่วยงานภาครัฐ กระบวนการสร้างตราสินค้าและการสร้างการรับรู้ตราสินค้าควรมุ่งเน้นในเรื่องของมาตรฐาน คุณภาพสินค้า ที่การันตีด้วยชื่อเสียงของสถาบันหรือหน่วยงาน รวมถึงเรื่องการสร้างประโยชน์และการตอบแทนสังคม เป็นอีกประเด็นที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญ ซึ่งมีผลอย่างยิ่งต่อการสร้างการยอมรับและความเชื่อมั่นในตราสินค้านั้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนรายได้ของคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

เกศินี บัวดี และกัลยา พิมพ์เพระ. 2564. การสร้างแบรนด์ให้ประสบความสำเร็จด้วยเครื่องมือนวัตกรรมทางการสื่อสารการตลาด.

วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 11(2): 305-320.

ศิริวรรณ เสรีรัตน์, ปริญ ลักษิตานนท์ และศุภกร เสรีรัตน์. 2552. การบริหารตลาดยุคใหม่. กรุงเทพฯ: พัฒนาศึกษา.

อัมพล ชูสนุก, จอมพล เวชการ, จีวีวรรณ ชูสนุก และกิตติ เจริญพรพานิชกุล. 2560. อิทธิพลการรับรู้คุณค่าด้านราคา และด้านคุณภาพต่อความไว้วางใจ ความพึงพอใจ การบอกต่อ และการกลับมาซื้อซ้ำของผู้บริโภคสินค้าไทยภูมิลิโกะในเขตกรุงเทพมหานคร. วารสารบริหารธุรกิจ ศรีนครินทรวิโรฒ 8(1): 13-26.

Aaker, D. A. 1991. *Managing brand equity: Capitalizing on the value of a brand name*. New York: The Free Press.

Hanf, J. H. and Kühl, R. 2005. Branding and its consequences for German agribusiness. *Agribusiness* 21(2): 177-189.

Keller, K. L. 2008. *Strategic branding management: Building, measuring, and managing brand equity*. 3rd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall.

Marin, L., Ruiz, S. and Rubio, A. 2009. The role of identity salience in the effects of corporate social responsibility on consumer behavior. *Journal of Business Ethics* 84(1): 65-78.

Oyedele, A., Saldivar, R., Hernandez, M. D. and Goenne, E. 2018. Modeling Satisfaction and Repurchase Intention of Mobile Smart Wristbands: The Role of Social Mindfulness and Perceived Value. *Young Consumers* 19(3): 237-250.

Randall, G. 1997. *Branding*. Great Britain: Clay.

วันรับบทความ (Received date) : 24 มิ.ย. 65

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 11 ก.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 28 ก.ค. 65

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้ สวนมะม่วงธัญลักษณ์ ของตำบลบางโจลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

The Development of Nam Dok Mai Mango Packaging for the Thanyalux Mango Orchard,
Bang Chalong Sub-district, Bang Phli District, Samut Prakan Province

ธนัท สมณคุปต์¹ และวสันต์ ชูณหวิจิตร²
Thanat Samanakup¹ and Wasan Choonwijitra²

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาบรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้สวนมะม่วงธัญลักษณ์ ตำบลบางโจลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 2) ศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้บรรจุภัณฑ์ของสวนมะม่วงธัญลักษณ์ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักวิชาการ 3 คน เกษตรกรผู้นำชุมชนสวนมะม่วง 4 คน รวมทั้งหมด 7 คน และกลุ่มลูกค้าผู้เยี่ยมชมงานมหกรรมมะม่วงน้ำดอกไม้ จังหวัดสมุทรปราการ จำนวน 409 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างและแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้บรรจุภัณฑ์ของสวนมะม่วงธัญลักษณ์ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบที (t-test) และการทดสอบเอฟ (F-test) ผลการวิจัย พบว่า การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน 1) กำหนดกลุ่มเป้าหมาย คือกลุ่มลูกค้าประจำ และนักท่องเที่ยวที่เข้ามาเยี่ยมชม 2) การกำหนดชื่อตราสินค้า มะม่วงธัญลักษณ์ THANYALUX MANGO สื่อถึงความเป็นเอกลักษณ์ 3) วัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ คำนึงความปลอดภัย ความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม 4) รูปทรงมีความแข็งแรง สีสดและกราฟิกมีความน่าสนใจ และทันสมัย 5) การออกแบบฉลากบรรจุภัณฑ์ ที่แสดงถึงรายละเอียดของผลิตภัณฑ์และสวนมะม่วง ความพึงพอใจของผู้ใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีต่อบรรจุภัณฑ์สวนมะม่วงธัญลักษณ์ โดยรวมทุกด้านอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.67$) และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ผู้ใช้บรรจุภัณฑ์มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก 2 ด้าน คือ ด้านส่งเสริมการจำหน่าย ($\bar{X} = 4.06$) และด้านความสะดวกและความปลอดภัย ($\bar{X} = 3.93$) และอยู่ในระดับปานกลาง 3 ด้าน คือ ด้านปกป้องผลิตภัณฑ์ ($\bar{X} = 3.31$) ด้านการบรรจุ ($\bar{X} = 3.22$) และด้านอำนวยความสะดวก ($\bar{X} = 3.13$) ตามลำดับ

คำสำคัญ: บรรจุภัณฑ์ การออกแบบบรรจุภัณฑ์ ความพึงพอใจของลูกค้ามะม่วง

Abstract

The objectives of this study were to 1) develop packaging for the Nam Dok Mai variety of mango grown at the Thanyalux Mango orchard, Bang Chalong Subdistrict, Bang Phli District, Samut Prakan Province, and 2) study the degree of satisfaction of the customers with the Thanyalux Mango packaging design. The sample group for the experiment was 3 academics, 4 mango farmers and a group of 409 customers who visited the Nam Dok Mai Mango Festival in Samut Prakan. The research tools were a semi-structured interview form and a user satisfaction questionnaire. Data analysis was done with frequency, percentage, mean, standard deviation, t-test, and F-test. The results were: 1) The target group was a group of regular customers and tourists who visited, 2) The mango brand name THANYALUX MANGO represented uniqueness, 3) The packaging materials were safe and environmentally friendly, 4) The packaging looked strong, was colorful, and the graphics were attractive and modern, and 5) The

¹หลักสูตรนิเทศศาสตร์เกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹ Agricultural Communication, Faculty of Agriculture Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

²ฝ่ายส่งเสริมและเผยแพร่ สำนักงานส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

² Extension and Diffusion Division, Extension and Training Office, Kasetsart University, Bangkok, 10900

*Corresponding author, Email: thanat.sa@kmitl.ac.th

packaging label design showed the details of the product and the mango orchard. The findings further revealed that overall customer satisfaction with the packaging design for the Thanyalux Mango was at a high level ($\bar{X} = 3.67$), and when each aspect was considered separately, it was found that packaging users had the highest level of satisfaction with 2 aspects, which were sales promotion ($\bar{X} = 4.06$) and cleanliness and safety of product ($\bar{X} = 3.93$). Moreover, users had a medium level of satisfaction with the protective aspect of the packaging ($\bar{X} = 3.31$), packing of product ($\bar{X} = 3.22$), and convenience of use ($\bar{X} = 3.13$).

Keyword: packaging, packaging designs, customer satisfaction mango

คำนำ

จังหวัดสมุทรปราการมีพื้นที่ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นจำนวนมากและได้เห็นความสำคัญของมะม่วงน้ำดอกไม้ จึงได้จัดกิจกรรมส่งเสริมการผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้สมุทรปราการคุณภาพเชิงการค้า ผ่านโครงการส่งเสริมการผลิตและสร้างมูลค่าเพิ่มสินค้าเกษตรปลอดภัยได้มาตรฐาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ได้แก่อบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้เชิงการค้า แปลงสาธิต/เรียนรู้การผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้ เพื่อเป็นแหล่งเรียนรู้ของเกษตรกรในพื้นที่ ฯลฯ (รายงานประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 จังหวัดสมุทรปราการ, 2564) ซึ่งรูปแบบในการพัฒนาด้านการเกษตรในปัจจุบันมีหลายแนวทาง เช่น การพัฒนาที่ตัวผลผลิต การพัฒนาเพื่อเพิ่มผลผลิต การพัฒนาโดยการสร้างมูลค่าเพิ่มของสินค้าเกษตรทุกแนวทางมีเป้าหมายเดียวกันคือการเพิ่มรายได้ และสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นให้กับเกษตรกร (พัทธยมล สือสวัสดิ์วินิชย์, 2558) การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้า โดยเฉพาะมะม่วงน้ำดอกไม้ ปัจจุบันบรรจุภัณฑ์มีทำหน้าที่พื้นฐานในการเป็นเพียงภาชนะบรรจุเท่านั้น หากแต่กลายมาเป็นองค์ประกอบสำคัญในการทำ branding, positioning และเป็นส่วนหนึ่งของแคมเปญการสื่อสารการตลาดแบบบูรณาการ

ด้วยเป้าหมายด้านการวิจัยและบริการวิชาการของคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ส่งเสริมการสร้างนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ที่ได้จริงตอบโจทย์พื้นที่ตลอดจนการนำองค์ความรู้จากงานวิจัยสู่การบริการวิชาการ เพื่อเป็นการส่งเสริมและพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้ ที่บ่งบอกถึงเรื่องราวของชุมชน มีความทันสมัย และมีความปลอดภัย ที่มีความสามารถในการเพิ่มมูลค่าให้แก่มะม่วงน้ำดอกไม้ของสวนมะม่วงธัญลักษณ์ ตำบลบางโหลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ให้เป็นที่ยอมรับของตลาดสินค้าเกษตรทั้งในและต่างประเทศได้

วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยแบบผสมวิธี ประกอบด้วยวิธีการวิจัยเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ การเก็บรวบรวมข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้ 1) การเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพ เป็นการพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้สวนมะม่วงธัญลักษณ์ ตำบลบางโหลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ โดยการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้ให้ข้อมูลหลัก (key informant) จำนวน 7 คน ได้แก่ นักวิชาการ 3 คน และ เกษตรกรผู้นำชุมชนสวนมะม่วง 4 คน 2) การเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ โดยใช้แบบสอบถาม เพื่อประเมินความพึงพอใจต่อบรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้ของสวนมะม่วงธัญลักษณ์ ตำบลบางโหลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ แบบสอบถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณ (rating scale) 5 ระดับ แบบ Likert Scale การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา จากนั้นนำมาแก้ไขปรับปรุงแล้วนำไปทดสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มประชากรจำนวน 30 คน แล้วนำข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) ได้ค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.94 แล้วผู้วิจัยเก็บรวบรวมแบบสอบถามด้วยตนเอง โดยการสุ่มแบบบังเอิญ (accidental

sampling) จากกลุ่มเป้าหมายที่เป็นผู้นำชุมชน และเกษตรกรในชุมชน บุคคลภายนอกและผู้ที่เกี่ยวข้องผลิตภัณฑ์ชุมชน นักวิชาการ เจ้าหน้าที่ฝ่ายสนับสนุนจากภาครัฐและเอกชน ที่เข้าชมนงานใน “งานมหกรรมวันมะม่วงน้ำดอกไม้ สมุทรปราการ 2565” จนได้แบบสอบถามครบ 409 ฉบับ การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้ 1) การวิจัยเชิงปริมาณ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพรรณนา ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบที (t-test) และการทดสอบเอฟ (F-test)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

พัฒนาบรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้

การออกแบบบรรจุภัณฑ์ ตามแนวคิดของ วิษณู ยืนยงพุทธกาล และคณะ (2559) ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) กำหนดกลุ่มเป้าหมาย 2) การกำหนดชื่อตราสินค้า 3) วัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ 4) รูปทรงสีสັນและกราฟิก และ 5) การออกแบบฉลากบรรจุภัณฑ์ ที่แสดงถึงที่ตั้ง ราคา วันเดือนปี และมาตรฐานสินค้า (ณัฐพร ยมรัตน์ และพพร เขียวใส, 2564) ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน 1) การขึ้นรูป วิธีการบรรจุ ลักษณะของรอยต่อการใช้งานเปิด-ปิดสะดวก 2) การออกแบบรูปแบบให้สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์สินค้า 3) การกำหนดลักษณะของบรรจุภัณฑ์ที่สร้างความโดดเด่น 4) มีขนาดพอดี เหมาะสม สามารถรับน้ำหนักสินค้าได้ดี 5) เลือกชนิดของวัสดุมีความเหมาะสม สามารถป้องกันสินค้าได้ ผู้วิจัยพบว่า ขั้นตอนการพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้ส่วนมะม่วงธัญลักษณ์ มีดังนี้

1) กำหนดกลุ่มเป้าหมาย กลุ่มเป้าหมายของผู้ที่เข้ามาซื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ส่วนธัญลักษณ์คือบุคคลที่เลือกซื้อที่เป็นกลุ่มลูกค้าประจำ และนักท่องเที่ยวที่เข้ามาเยี่ยมชมสวนมะม่วงธัญลักษณ์ ทั้งกรุงเทพมหานคร ปริมณฑลและต่างจังหวัด

2) การกำหนดชื่อตราสินค้า มะม่วงธัญลักษณ์ THANYALUX MANGO เป็นตราสินค้าที่ใช้ชื่อตามเจ้าของกิจการ สื่อถึงความเป็นเอกลักษณ์ ชัดเจน น่าสนใจ และสามารถจดจำได้ง่าย รวมถึงการใช้ tagline เปลือกบาง หวานหอม เลี่ยนน้อย เมล็ดลีบ ที่แสดงถึงจุดแข็งของมะม่วงน้ำดอกไม้จากสวนมะม่วงธัญลักษณ์ ตำบลบางโหลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ที่สร้างความสนใจแก่ผู้ที่เข้ามาซื้อได้

3) วัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ การเลือกใช้กระดาษในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะม่วงเพื่อคำนึงความปลอดภัยของผู้บริโภค ความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีการผลิตที่ได้มาตรฐาน สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ รับน้ำหนักได้ดีและมีต้นทุนการผลิตที่ไม่สูงมาก เป็นการเพิ่มมูลค่าของมะม่วงน้ำดอกไม้ของสวนมะม่วงธัญลักษณ์

4) รูปทรง สีสັນและกราฟิก บรรจุภัณฑ์ส่วนมะม่วงธัญลักษณ์ได้ปรับเปลี่ยนรูปทรงจากเดิมที่เป็นกล่องสี่เหลี่ยม ลักษณะแบนประกอบกับมีหูหิ้วด้านบน ทำให้ขนส่งครั้งละมาก ๆ เป็นไปได้ยาก การออกแบบใหม่จึงทำให้กล่องมีความสูงมากขึ้นและปรับด้านกว้างยาวให้แคบลง มีความแข็งแรง สามารถซ้อนทับและเคลื่อนย้ายได้ง่ายโดยที่ผลมะม่วงไม่ช้ำ ส่วนสีสັນและกราฟิก เป็นการเลือกใช้สีเขียวและสีขาว บ่งบอกถึงความเรียบง่าย สะอาดตาแก่ผู้พบเห็น มีความทันสมัย ข้อความบนบรรจุภัณฑ์ประกอบด้วย ด้านหน้าเป็นตราสินค้าขนาดใหญ่ ด้านข้างเป็นอินโฟกราฟิกบอกถึงสีของผลมะม่วงว่ามีระดับการสุกที่แตกต่างกัน และรางวัลการประกวดเพื่อเป็นข้อยืนยันว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ที่นี่มีคุณภาพ ส่วนด้านหลังเป็นข้อมูลเรื่องราวความเป็นมาของสวน ลักษณะเด่นของมะม่วงน้ำดอกไม้ รวมไปถึงที่อยู่และแผนที่การเดินทางมายังสวนมะม่วงธัญลักษณ์

5) การออกแบบฉลากบรรจุภัณฑ์ ที่แสดงถึงที่ตั้ง ราคา วันเดือนปี น้ำหนัก และมาตรฐานสินค้า

จากการวิจัย พบว่า มีการพัฒนากล่องบรรจุภัณฑ์เอง ภายใต้แบรนด์ของสวนมะม่วงธัญลักษณ์ THANYALUX MANGO เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีเรื่องราว นำกราฟิกมาใช้เพื่อสื่อถึงเอกลักษณ์ของชุมชนได้อย่างดี สอดคล้องกับ Ampuero and Vila (2006) กล่าวว่า องค์ประกอบด้านกราฟิกของบรรจุภัณฑ์ (graphic elements) ประกอบด้วย สี การพิมพ์ รูปร่างกราฟิก และรูปภาพ ขณะที่ Silayoi and Speece (2004) กล่าวว่า กราฟิกประกอบด้วย การออกแบบ การผสมสี การจัดวางและออกแบบตัวอักษร และรูปภาพผลิตภัณฑ์ การปรับรูปทรงในทุกมิติทำให้น่าสนใจแก่ผู้พบเห็น (Estiri et al., 2010) รูปทรงของ

บรรจุภัณฑ์ที่ผู้บริโภคมองเห็น ทั้งความเป็นเอกลักษณ์ ความสวยงาม ความยาว และความตรงของรูปทรงบรรจุภัณฑ์ ประกอบกับการเลือกวัสดุที่เป็นกระดาษที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถนำมารีไซเคิลได้ รวมถึงมีความแข็งแรงที่สามารถปกป้องผลมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ ซึ่งเกิดจากการร่วมแสดงความคิดเห็นของกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วง นักวิชาการ และผู้ที่เกี่ยวข้องที่มีความรู้ความสามารถด้านเทคโนโลยีการเกษตร ประกอบกับการศึกษาจากเอกสารและแหล่งข้อมูลต่าง ๆ (Figure 1)



Figure 1 Nam Dok Mai mango packaging.

ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศหญิงมากที่สุด (ร้อยละ 55.99) มีอายุตั้งแต่ 46 ปีขึ้นไป (ร้อยละ 25.18) โดยมีอายุเฉลี่ย 40.86 ปี ส่วนใหญ่มีการศึกษาในระดับปริญญาตรี (ร้อยละ 60.64) มีอาชีพลูกจ้างเอกชน (ร้อยละ 34.96) มีรายได้ของครอบครัวเฉลี่ยต่ำกว่า 20,001 บาท/เดือน (ร้อยละ 36.67) โดยมีรายได้ของครอบครัวเฉลี่ย 29,221.27 บาท/เดือน (Table 1)

Table 1 Basic characteristics of survey participants (n=409).

Characteristics	Frequency (N)	Percentage (%)
1. Gender		
Female	229	55.99
Male	180	44.01
2. Age		
≤ 30 years	57	13.94
31 - 34 years	55	13.45
35 - 40 years	102	24.94
41 - 45 years	92	22.49
≥ 46 years	103	25.18
Min= 18 years, Max= 66 years, Mean= 40.86 years		
3. Education Level		
Junior high school	21	5.13
High school/ Vocational Certificate	12	2.93
Diploma / high vocational certificate	34	8.31
Bachelor's degree	248	60.64

Post-Graduate	94	22.98
4. Current Occupation		
Private Employee	143	34.96
Government /State Enterprise	115	28.12
Trading/ Self-employed	68	16.63
Butler/Housekeeper	38	9.29
Retire	20	4.89
Hiring/Using Labor	13	3.18
Student	12	2.93
5. Average Monthly Income (Baht/Month)		
$\leq$ 20,000 Baht	150	36.67
20,001 - 25,000 Baht	121	29.58
$\geq$ 25,001 Baht	138	33.74
Min = 10,000 Baht, Max = 100,000 Baht, Mean = 29,221.27 Baht		

ความพึงพอใจของผู้ใช้บรรจุภัณฑ์ของสวนมะม่วงอัญชลี

จากการศึกษาพบว่าความพึงพอใจของผู้ใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีต่อบรรจุภัณฑ์สวนมะม่วงอัญชลีโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.67$) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า อยู่ในระดับมาก 2 ด้าน คือ ด้านส่งเสริมการจำหน่าย ($\bar{X} = 4.06$) และด้านความสะดวกและความปลอดภัย ($\bar{X} = 3.93$) ตามลำดับ นอกนั้นอยู่ในระดับปานกลาง โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ด้านปกป้องผลิตภัณฑ์ ($\bar{X} = 3.31$) ด้านการบรรจุ ($\bar{X} = 3.22$) และด้านอำนวยความสะดวก ($\bar{X} = 3.13$) ตามลำดับ (Table 2)

Table 2 Overall satisfaction of the user's packaging with Thanyalux mango orchard (n=409).

Packaging User Satisfaction	$\bar{X}$	S.D.	Meaning
1. Sales Promotion	4.06	0.47	High
2. Cleanliness and Safety	3.93	0.56	High
3. Package Protection	3.31	0.68	Moderate
4. Packing	3.22	0.76	Moderate
5. Convenience	3.13	0.73	Moderate
Total	3.67	0.38	High

Note: 4.21-5.00 = highest; 3.41-4.20 = high; 2.61-3.40 = moderate; 1.81-2.60 = low; 1.00-1.80 = lowest.

ความพึงพอใจของผู้ใช้บรรจุภัณฑ์ของสวนมะม่วงอัญชลี เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน มีรายละเอียดดังนี้ (Table 3)

1. ด้านปกป้องผลิตภัณฑ์ พบว่า ผู้ใช้บรรจุภัณฑ์มีความพึงพอใจโดยรวมในระดับปานกลาง ($\bar{X} = 3.31$) และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า อยู่ในระดับมาก 1 ข้อ คือ บรรจุภัณฑ์สามารถช่วยปกป้องรักษาผลิตภัณฑ์ได้เมื่อได้รับแรงกระแทก

ไม่แรงนัก ($\bar{X} = 3.58$) ส่วนที่เหลืออยู่ในระดับปานกลาง 2 ข้อ คือ บรรจุภัณฑ์ที่มีความกะทัดรัดและพอดีกับผลิตภัณฑ์ภายใน ($\bar{X} = 3.27$) และโครงสร้างบรรจุภัณฑ์สามารถปิดได้สนิท เพื่อคุ้มครองผลิตภัณฑ์ภายในได้ ($\bar{X} = 3.07$) ตามลำดับ

2. ด้านการบรรจุ พบว่า ผู้ใช้บรรจุภัณฑ์มีความพึงพอใจโดยรวมในระดับปานกลาง ($\bar{X} = 3.31$) และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า อยู่ในระดับปานกลางทุกข้อ โดยเรียงลำดับดังนี้ บรรจุภัณฑ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ ประเภทผลไม้ที่มีลักษณะเดียวกันได้ ($\bar{X} = 3.46$) สามารถบรรจุได้ง่ายและเป็นระเบียบ ($\bar{X} = 3.21$) และบรรจุได้ในปริมาณที่พอเหมาะ ($\bar{X} = 2.97$) ตามลำดับ

3. ด้านอำนวยความสะดวก พบว่า ผู้ใช้บรรจุภัณฑ์มีความพึงพอใจโดยรวมในระดับปานกลาง ($\bar{X} = 3.13$) และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า อยู่ในระดับปานกลางทุกข้อ โดยเรียงลำดับดังนี้ สามารถเปิดรับประทานได้ง่าย ($\bar{X} = 3.31$) บรรจุภัณฑ์สามารถจัดเรียงในลักษณะซ้อนกันได้ ($\bar{X} = 3.14$) และการเก็บรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ในกรณีที่ได้รับประทานไม่หมด ($\bar{X} = 2.93$) ตามลำดับ

4. ด้านส่งเสริมการจำหน่าย พบว่า ผู้ใช้บรรจุภัณฑ์มีความพึงพอใจโดยรวมในระดับมาก ($\bar{X} = 4.06$) และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า อยู่ในระดับมากที่สุด 1 ข้อ คือ ความคิดสร้างสรรค์ในรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ ($\bar{X} = 4.59$) นอกนั้นอยู่ในระดับมากที่สุดโดย 2 อันดับแรกคือ บรรจุภัณฑ์ดึงดูดความสนใจของลูกค้า ($\bar{X} = 4.36$) และบรรจุภัณฑ์ที่มีความทันสมัยสวยงาม ดึงดูดความสนใจลูกค้าเมื่อพบเห็น ($\bar{X} = 4.26$) และน้อยที่สุดคือ ราคาเหมาะสมกับลักษณะและรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ ($\bar{X} = 4.49$)

5. ด้านความสะอาดและความปลอดภัย พบว่า ผู้ใช้บรรจุภัณฑ์มีความพึงพอใจโดยรวมในระดับมาก ($\bar{X} = 3.93$) และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า อยู่ในระดับมากที่สุดทุกข้อ คือ บรรจุภัณฑ์สามารถห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานและถูกสุขอนามัย ($\bar{X} = 3.97$) บรรจุภัณฑ์มีส่วนผสมของวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ($\bar{X} = 2.97$) ตามลำดับ

Table 3 The user satisfaction to the packaging of Thanyalux mango orchard (n=409).

Packaging User Satisfaction	$\bar{X}$	S.D.	Meaning
1. Package Protection			
1) The packaging can help protect the product	3.58	0.66	High
2) The packaging is compact and fits the product inside.	3.27	0.92	Moderate
3) The packaging structure can be completely sealed and protect internal products	3.07	0.97	Moderate
Total	3.31	0.68	Moderate
2. Packing			
1) Packaging can be applied to other products	3.46	0.89	Moderate
2) Packaging can be packed easily and tidy	3.21	0.92	Moderate
3) Packaging can be packed in the right amount	2.97	0.81	Moderate
Total	3.22	0.76	Moderate
3. Convenience			
1) Packaging can be opened and eaten easily	3.31	0.78	Moderate
2) Packaging can be arranged in a stackable manner	3.14	0.89	Moderate
3) Preserving the quality of the product if it is not completely eaten	2.93	0.89	Moderate

	Total	3.13	0.73	Moderate
4. Sales Promotion				
1) Creativity in the form of packaging	4.59	0.59	Highest	
2) Packaging attracts the attention of customers.	4.36	0.67	High	
3) Packaging is modern and beautiful.	4.26	0.66	High	
4) The details on the packaging are complete.	4.11	0.57	High	
5) The color of the packaging makes it stand out from other fruit packaging that are sold in the same place.	4.03	0.81	High	
6) Packing has a unique identity that customers can easily recognize.	3.94	0.66	High	
7) Packaging advertising messages encourage customers to buy again.	3.92	0.65	High	
8) Appropriateness of image and font sizes	3.82	0.74	High	
9) Pricing is appropriate for the nature and style of packaging used.	3.49	0.61	High	
Total	4.06	0.47	High	
5. Cleanliness and Safety				
1) The packaging can encapsulate the standard and hygienic products.	3.97	0.57	High	
2) The packaging is made up of eco-friendly materials.	3.89	0.75	High	
Total	3.93	0.56	High	

Note: 4.21-5.00 = highest; 3.41-4.20 = high; 2.61-3.40 = moderate; 1.81-2.60 = low; 1.00-1.80 = lowest.

การเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อบรรจุภัณฑ์ จำแนกตามปัจจัยส่วนบุคคล

การเปรียบเทียบความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์ จำแนกตามปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้ของครอบครัวเฉลี่ยต่อเดือน พบว่า อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้เฉลี่ยต่อเดือนของครอบครัวที่แตกต่างกัน มีความพึงพอใจต่อบรรจุภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนเพศที่แตกต่างกันความพึงพอใจไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) (Table 4) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) เพศที่แตกต่างกันความพึงพอใจต่อบรรจุภัณฑ์ ไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$)

2) อายุที่แตกต่างกันความพึงพอใจต่อบรรจุภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่อายุ 35-40 ปี มีความพึงพอใจมากกว่าผู้ใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีอายุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 ปี และ 31-34 ปีและ อายุมากกว่าหรือเท่ากับ 46 ปีขึ้นไป และผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีอายุระหว่าง 41-45 ปี มีความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์มากกว่าผู้ใช้ที่มีอายุมากกว่าหรือเท่ากับ 46 ปีขึ้นไป อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

3) อาชีพที่แตกต่างกันความพึงพอใจต่อบรรจุภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่เกษียณอายุมีความพึงพอใจน้อยกว่าอาชีพลูกจ้างเอกชน ค้าขาย/ประกอบอาชีพอิสระ รับจ้าง/ใช้แรงงาน รับราชการ/รัฐวิสาหกิจ และพ่อบ้าน/แม่บ้าน และผู้ใช้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นนักเรียน/นักศึกษาที่มีความพึงพอใจน้อยกว่าอาชีพ พ่อบ้าน/แม่บ้าน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4) รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของครอบครัวที่แตกต่างกันความพึงพอใจต่อบรรจุภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยผู้ที่มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนของครอบครัวมากกว่า 25,000 บาท ความพึงพอใจต่อบรรจุภัณฑ์มากกว่าผู้ที่มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนของครอบครัวต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20,001 บาท อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

Table 4 Comparison of differences in satisfaction with mango orchard packaging classified by personal characteristic.

Characteristics	$\bar{X}$	S.D.	t/F	P-value	Comparison Test
Gender					-
Male	3.65	0.38	-0.664	0.507	
Female	3.68	0.39			
Age (Year)					3>2*; 3>1*; 3>5; 4>5*
1) ≤ 30 years	3.60	0.35	6.342	0.000**	
2) 31 - 34 years	3.59	0.66			
3) 35 - 40 years	3.80	0.27			
4) 41 - 45 years	3.70	0.30			
5) ≥ 46 years	3.57	0.32			
Occupation			3.723	0.001**	7<1*; 7<2*; 7<3*; 7<4*; 7<5*; 6<5*
1) Private Employee	3.68	0.29			
2) Trading/ Self-employed	3.74	0.26			
3) Hiring/ Labor	3.62	0.29			
4) Government /State Enterprise	3.65	0.54			
5) Butler/Housekeeper	3.78	0.22			
6) Student	3.52	0.28			
7) Retire	3.35	0.37			
Monthly Income (Baht)			8.192	0.000**	3>1*
1) $\leq 20,001$ Baht	3.57	0.42			
2) 20,001 - 25,000 Baht	3.69	0.28			
3) $\geq 25,000$ Baht	3.75	0.40			

**, * = Significant at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.

สรุปผลการศึกษา

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้ของสวนมะม่วงรัชฎ์ลักษณะ ของตำบลบางไผ่ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ โดยบูรณาการความรู้ด้านเทคโนโลยีการเกษตร การออกแบบ และแก้โจทย์ปัญหาจากพื้นที่จริงระหว่างชุมชน และนักวิชาการผ่านกระบวนการวิจัย ทำให้เกิดต้นแบบบรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้ จนสามารถสามารถนำไปทดลองกับสินค้าจริงโดยให้ผู้บริโภคได้เข้ามามีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลที่มีประโยชน์ ความพึงพอใจของผู้ใช้บรรจุภัณฑ์ของสวนมะม่วงรัชฎ์ลักษณะ บ่งบอกถึงการให้ความสำคัญต่อบรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้ได้เป็นอย่างดี นั่นคือบรรจุภัณฑ์สามารถช่วยปกป้อง

รักษาลิขสิทธิ์ได้เมื่อได้รับแรงกระตุ้นไม่แรงนัก มีโครงสร้างทางกายภาพที่เหมาะสมสามารถปกป้องผลิตภัณฑ์จากความเสียหายและการขนส่ง รวมถึงให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ และนำเสนอผลิตภัณฑ์อย่างสวยงาม (Wyrwa and Barska, 2017) มีความกะทัดรัดและพอดีกับการใส่ผลมะม่วงได้ในปริมาณที่พอเหมาะและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับมะม่วงพันธุ์อื่น ๆ ได้

ในส่วนของการใช้งานสามารถเปิดใช้งานสะดวก วางซ้อนกันได้ การปกป้องคุ้มครองสินค้าที่อยู่ภายในให้อยู่ในสภาพดี ไม่เกิดความเสียหาย การเลือกใช้กระดาษซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ได้หลายรูปแบบ เช่น กล่องกระดาษลูกฟูก เป็นต้น ข้อดีของวัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทนี้ คือ น้ำหนักเบา ใช้ร่วมกับวัสดุบรรจุภัณฑ์อื่นได้ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) (ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้า OTOP, 2564) ในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะม่วงเพื่อให้มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค รับน้ำหนักได้ดีและมีต้นทุนการผลิตที่ไม่สูงมาก ในส่วนของการออกแบบนั้นมีความคิดสร้างสรรค์ ดึงดูดความสนใจของลูกค้า มีความทันสมัย สวยงาม สามารถห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ได้ตามมาตรฐานและถูกสุขอนามัย ใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รวมถึงการส่งเสริมการขายที่ทำให้ผู้บริโภคกลับมาซื้อซ้ำได้ อย่างไรก็ตามข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่หลากหลายขนาด คำนึงถึงความแข็งแรงหากต้องมีการขนย้ายในคราวละจำนวนมากได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนทุนวิจัย โครงการนักวิจัยเงินรายได้ ในโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้ สวมนะม่วงอัตลักษณ์ ของตำบลบางไผ่ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

เอกสารอ้างอิง

- ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้า OTOP. 2564. การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์. <http://www.sptn.dss.go.th/otopinfo/index.php/en/knowledge/interestingarticles/123-2017-03-28-07-05-27> (8 ธันวาคม 2564).
- ณัฐพร ยมรัตน์ และพพร เอี่ยมใส. 2564. การออกแบบบรรจุภัณฑ์เครื่องหอมไทย. *วารสารด้านการออกแบบ ดีไซน์เอดโค* 2(1): 58-69.
- ทิตติยา อยู่เจริญ. 2561. องค์ประกอบของบรรจุภัณฑ์ที่นักท่องเที่ยวยุคใหม่ให้ความสนใจ ในการเลือกซื้อมะม่วงอบแห้ง. *ปริญาญการจัการ มหาวัดนิต, วิทยาลัยการจัการ มหาวิตยาลัยมหิดล*.
- ธนิธ โสรัตน์. 2558. การออกแบบบรรจุภัณฑ์ (Packaging Design) เพื่อสนับสนุนประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์และส่งเสริมการตลาด. บริษัทในเครือ วี-เชอร์ฟ กรุ๊ป. <http://www.doe.go.th/library/html/detail/big/big5.htm> (8 ธันวาคม 2564).
- พัทธ์ยมล สือสวัสดิ์วินัย. 2558. ต้นแบบการบริหารจัดการธุรกิจการท่องเที่ยวเชิงเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพในภาคตะวันออกของประเทศไทย. *วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร* 35(1): 103-124.
- รายงานประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 จังหวัดสมุทรปราการ. 2564. <https://www2.samutprakan.go.th/รายงานประจำปี/รายงานประจำปี 2564> (8 ธันวาคม 2564).
- วิษณีย์ ยืนยงพุทธกาล, กฤษณะ ชินสาร์ และสิริมา ชินสาร์. 2559. การออกแบบบรรจุภัณฑ์ การทดสอบผู้บริโภคสำหรับผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้และการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน. *โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557*.
- Estiri, M., Hasangholipour, T., Yazdani, H., Nejad, H. J. and Rayej, H. 2010. Food Products Consumer Behaviors: The Role of Packaging Elements. *Journal of Applied Sciences* 10(7): 535-543.
- Ampuero, O. and Vila, N. 2006. Consumer perceptions of product packaging. *Journal of Consumer Marketing* 23(2): 100-112.
- Wyrwa, J. and Barska, A. 2017. Packaging as a source of information about food products. *Procedia Engineering* 182: 770-779.

วันรับบทความ (Received date) : 27 ก.ค. 65

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 30 ก.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 31 ก.ค. 65

KING MONGKUT'S AGRICULTURAL JOURNAL

Research Articles:		Page
□ Monitoring some Changes in Soil and Water Properties Caused by the Influence of Seawater Intrusion in Vegetable and Fruit Cultivation Areas of Nonthaburi and Pathum Thani Provinces	Nuchjarin Niamjumnong, Napaporn Phankamolsil, Wipawan Thaymuang and Kiattisak Sonsri	94
□ The Effect of High Level Stocking Density of <i>Moina</i> (<i>Moina macrocopa</i>) Fed with Dried <i>Chlorella</i> sp. Powder as a Food Source on Growth Performance	Thanakon Tharajaroen, Phongchate Pichitkul, Idsariya Wudtisin and Suriyan Tungkijjanukij	105
□ Effect of Aloe vera gel and Guava Leaf Extract Coating on Postharvest Quality of Mango (<i>Mangifera indica</i>) L. cv. "Nam Dok Mai Sri Tong"	Thita Soonthornvipat	115
□ The Effects of Climate and Policy Information on Farmers' Alternative Cropping Decisions and Information Receiving Channels in High Risk of Drought Area, Uthai Thani Province	Nitipa Worrapantrakul, Chatchawarn Paopeng and Sairak Chailanggar	125
□ Changes in Germination and Seedlings Growth of Carrot after Seed Pelleting with Plant Nutrients	Jakkrapong Kangsopa, Phetcarat Jeepheet, Nararat Thawong, Aranya Singsopa and Sureemard Chantain	134
□ Spatial Variability of Soil Organic Matter Content in Paddy Loamy and Sandy Soils in Amphoe Phra Yuen, Khon Kaen Province Thailand Using Geostatistics	Porn-tip Phontusang, Supranee Sritumboon and Roengsak Katawatin	144
□ Effect of Extraction on Anthocyanin from Black Glutinous Rice Using Soaking Method and Pulsed Electric Field	Orathai Bunthawong and Ubonrat Phromfung	153
□ Screening of <i>Curcuma</i> sp. (Patumma) Hybrid Lines for Their Resistance to Bacterial Wilt Caused by the <i>Ralstonia solanacearum</i> Species Complex	Athid-taya Kumvinit, Angsana Akarapisan, Porn-suk Chaisuk, Theeraniti Puangkrit and Chalermsri Nontaswatsri	160
□ The Effect of Nanocellulose and Wetting-Drying Cycle on Water-Holding Capacity and State of Aggregation of Fine-Textured Soil	Suchada Karuna, Anut Hengcharoen and Natthanicha Thammincha	169
□ Appropriate Ratios of Mulberry Leaf and Pineapple on Qualities of Mulberry Leaf and Pineapple Juice	Wattana Wirivutthikorn	178
□ Potential for Drought Tolerance and Yield of a Landrace and Recommended Thai Upland Rice Cultivars	Charanya Khaeksawad, Suwat Imwichit, Prapasorn Wijitjun, Suntit Reewarabumdit, Nattawan Bussaba, Sunantra Banjobpudsa, Thanasin Thabthimtho et al.	187
□ A Website Development of Thai Sustainable Seafood Manifesto Project	Rattama Rattanawongsa and Kulachai Kultawanich	196
□ Branding and Brand Awareness of Farm Chao Khun By KMITL in Thailand	Jeeranun Khernkhan, Runkunenarniht Kunlung, Prapat Athipanajong and Rattama Rattanawongsa	206
□ The Development of Nam Dok Mai Mango Packaging for the Thanyalux Mango Orchard, Bang Chalong Sub-district, Bang Phli District, Samut Prakan Province	Thanat Samanakupt and Wasan Choonwijitra	216